



**João Michael Grieco  
Simões**

**Análise energética da biblioteca da Universidade de  
Aveiro**



**João Michael Grieco  
Simões**

**Análise energética da biblioteca da Universidade de Aveiro**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Doutor José Paulo Santos, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

## **o júri**

presidente

Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho  
professor associado da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins  
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos  
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Ao orientador deste projeto, Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos, pela disponibilidade e confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Serviços de Gestão Técnica e Logística e Serviços de Tecnologias da Informação e Comunicação da Universidade de Aveiro pela informação disponibilizada e um agradecimento especial ao Eng. Pedro Ferreira por toda a informação transmitida relativa ao edifício e pela disponibilidade demonstrada nas várias visitas aos locais.

À minha família, pelo apoio incondicional, imprescindível à concretização desta etapa académica e pessoal. À minha namorada por toda a motivação e apoio prestados.

**palavras-chave**

energia, eficiência energética, biblioteca, climatização, iluminação, consumos energéticos.

**resumo**

A energia e sustentabilidade ocupam nos dias de hoje posições centrais relativamente a preocupações ambientais e económicas, pelo que se tem notado uma crescente preocupação em promover uma maior sustentabilidade energética através da utilização de medidas de racionalização de energia. Com isto, surge a temática da eficiência energética, sendo um mecanismo económico e “limpo de CO<sub>2</sub>” para reduzir os consumos energéticos, os desperdícios associados e também a emissão de gases poluentes. Os edifícios representam uma porção muito significativa dos gastos inerentes à energia elétrica e gás natural, apresentando também uma grande contribuição para as emissões de dióxido de carbono. Deste modo, o presente estudo recairá na análise energética da biblioteca da Universidade de Aveiro, onde se pretende avaliar o desempenho energético do edifício e desta forma identificar oportunidades e medidas de melhoria com o objetivo de reduzir o consumo energético e a emissão de CO<sub>2</sub>, permitindo, simultaneamente, uma poupança anual no valor da fatura energética. Estas soluções que visam a redução energética e monetária, podem ser acompanhadas de investimentos em equipamentos mais eficientes, analisando de igual modo medidas que não requerem investimentos monetários, como alterações aos horários de funcionamentos de certos equipamentos e gestão da procura de energia. É posteriormente efetuada uma análise da viabilidade técnica e económica das medidas propostas, onde permite identificar medidas com retorno de investimento satisfatórios e outras onde apresentam períodos considerados elevados. Conclui-se que as medidas propostas sem investimento inicial revelam um potencial de poupança de 20%, podendo atingir 23%, aplicando as medidas que necessitam de investimento inicial.

**keywords**

energy, energy efficiency, library, air conditioning, lighting, energy consumption

**abstract**

Nowadays Energy and Sustainability occupy central positions on environmental and economic concerns/politics, and there has been a growing concern to promote greater energy sustainability with the use of energy rationalization measures. Therefore, the theme of energy efficiency emerges, being an economic and "clean CO<sub>2</sub>" mechanism to reduce energy consumption, associated waste and also the emission of polluting gases. Buildings represent a very significant portion of the cost of electricity and natural gas, and also make a significant contribution to carbon dioxide emissions. In this way, the present study will rely on the energy analysis of the library of the University of Aveiro, where it is intended to evaluate the energy performance of the building and thus identify opportunities and improvement measures with the objective of reducing energy consumption and CO<sub>2</sub> emission, allowing at the same time, an annual saving on the energy bill. These solutions aimed at reducing energy and costs can be implemented by using more efficient equipment's, or without additional financial investment, such as changes in the working hours of certain equipment and energy demand management. An analysis of the technical and economic feasibility of the proposed measures is subsequently carried out, to identify measures with a satisfactory return on investment and others with relatively high periods. It is concluded that the measures proposed without initial investment show a saving potential of 20% and can reach 23% by applying the measures that require initial investment.

# Índice

1.	Introdução.....	1
1.1.	Contextualização.....	1
1.2.	Objetivos.....	1
1.3.	Estrutura do trabalho.....	2
2.	Revisão bibliográfica.....	5
2.1.	Enquadramento energético.....	5
2.2.	A Energia e a Europa.....	6
2.3.	Situação Energética Nacional.....	8
2.3.1.	Energia Primária.....	8
2.3.2.	Energia Final.....	10
2.3.3.	Consumo de energia elétrica.....	11
2.3.4.	Intensidade e dependência energética.....	12
2.4.	Política Energética Nacional.....	16
2.5.	Eficiência Energética em Edifícios.....	20
2.5.1.	Diretivas Europeias no âmbito da eficiência energética em edifícios.....	21
2.5.2.	Enquadramento Legislativo em Portugal.....	22
2.5.3.	Medidas para a melhoria da Eficiência Energética em Edifícios.....	24
2.5.3.1.	Equipamentos.....	25
2.5.3.2.	Iluminação.....	26
2.5.3.3.	Sistemas de Aquecimento, Ventilação e de Ar Condicionado.....	28
2.5.3.4.	Envoltivo do Edifício.....	30
2.5.3.5.	Gestão Técnica Centralizada.....	30
2.5.3.6.	Planos comportamentais.....	31
2.5.4.	Gestão de Energia.....	32
2.5.4.1.	Auditoria energética a edifícios de serviços.....	32
2.6.	Sistemas de Iluminação.....	34
2.6.1.	Grandezas de quantificação de luz.....	34
2.6.2.	Iluminação Natural.....	36
2.6.3.	Iluminação Artificial.....	36
2.6.4.	Principais componentes do Sistema de Iluminação Artificial.....	36
2.6.4.1.	Lâmpadas.....	36
2.6.4.2.	Balastos.....	41
2.6.4.3.	Luminárias.....	43
2.6.4.4.	Sistemas de controlo.....	43
2.6.4.4.1.	Sistemas de Controlo Manual.....	44
2.6.4.4.2.	Sistemas de Controlo Automático.....	45
2.7.	Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.....	48
2.7.1.	Sistema de AVAC.....	52
2.7.1.1.	Equipamentos centralizados do sistema AVAC.....	52
3.	Caso de estudo.....	57
3.1.	Identificação e caracterização das áreas do edifício.....	57
3.1.1.	Biblioteca da Universidade de Aveiro.....	57
3.2.	Sistema de Iluminação.....	60
3.2.1.	Caraterização do sistema de iluminação.....	60
3.2.2.	Consumo do sistema de iluminação.....	65
3.2.3.	Iluminância.....	66
3.3.	Sistema de Climatização.....	70

3.3.1.	Sistema de Gestão Técnica .....	72
3.3.2.	Sistema de Aquecimento .....	78
3.3.3.	Sistema de Arrefecimento.....	81
3.3.4.	Unidades de tratamento de ar novo (UTAN).....	83
3.3.5.	Unidades terminais de aquecimento, arrefecimento e ventilação .....	85
3.3.6.	Consumo do sistema de Climatização .....	87
3.4.	Outros aparelhos elétricos .....	91
3.5.	Análise energética da biblioteca .....	93
3.5.1.	Análise dos consumos globais de energia.....	94
3.5.1.1.	Desagregação dos consumos .....	97
3.5.2.	Consumo de energia elétrica.....	99
3.5.2.1.	Diagramas de Carga .....	102
3.5.3.	Custos com energia elétrica .....	109
3.5.4.	Consumo de gás natural.....	113
3.5.5.	Custos com gás natural .....	115
3.5.6.	Emissões de CO <sub>2</sub> .....	116
3.5.7.	Índice de Eficiência Energética real .....	117
3.5.8.	Classe de Eficiência Energética.....	119
3.5.9.	Variação do consumo de energia com a temperatura exterior .....	119
3.5.9.1.	Variação do consumo de energia elétrica com a temperatura exterior .....	121
3.5.9.2.	Variação do consumo de energia elétrica diário com a temperatura média diária exterior .	122
3.5.10.	Variação do consumo de gás natural com a temperatura média exterior .....	123
3.5.10.1.	Variação do consumo de gás natural diário com a temperatura média diária exterior....	123
4.	Avaliação do impacto de medidas de eficiência energética.....	125
4.1.	Medidas já implementadas .....	125
4.1.	Medidas possíveis de implementar sem investimento .....	127
4.1.1.	Gestão da procura de energia.....	127
4.1.2.	Gestão horária do sistema de climatização .....	129
4.1.3.	Ajuste dos <i>setpoints</i> do sistema de climatização .....	133
4.1.4.	Equipamentos .....	135
4.2.	Medidas possíveis de implementar com investimento .....	138
4.2.1.	Sistema de climatização.....	138
4.2.2.	Sistema de iluminação .....	142
4.2.3.	Equipamentos .....	149
4.3.	Resumo e recomendações das medidas propostas .....	150
5.	Conclusões.....	153
5.1.	Cumprimento dos objetivos .....	155
5.2.	Recomendações.....	155
	Referências .....	157
	Anexos.....	160



## Índice de Imagens

Figura 1 - Consumo de Energia Final por tipo de produto energético na UE [9] .....	5
Figura 2 - Consumo de Energia Final na UE [9] .....	6
Figura 3 - Metas Europeias para a eficiência energética [11] .....	7
Figura 4 - Principais medidas de promoção da Eficiência Energética previstas na Diretiva 2012/27/EU [11] .	7
Figura 5 - Evolução dos consumos de energia primária e final em Portugal [12] .....	8
Figura 6 - Energia Primária em Portugal em 2015 [13] .....	9
Figura 7 - Energia Primária em Portugal em 2016 [12] .....	9
Figura 8 - Evolução do consumo de Energia Primária em Portugal por tipo de fonte de energia [9] .....	9
Figura 9 - Energia Final em Portugal em 2016 [13] .....	10
Figura 10 - Energia Final em Portugal em 2015 [14] .....	10
Figura 11 - Energia Final por setor em Portugal em 2016 [9] .....	10
Figura 12 - Evolução do consumo de Energia Final em Portugal por setor de atividade [9] .....	11
Figura 13 - Evolução do consumo de energia elétrica em Portugal [12] .....	11
Figura 14 - Consumo final de energia elétrica por setor de atividade em 2016 [9] .....	12
Figura 15 - Evolução do consumo final de energia elétrica por setor de atividade [9] .....	12
Figura 16 - Intensidade Energética da economia comparativamente á média da UE [9] .....	13
Figura 17 - Intensidade Energética da economia em Portugal [9] .....	13
Figura 18 - Intensidade Energética da economia em Portugal [9] .....	14
Figura 19 - Dependência Energética de Portugal [12] .....	15
Figura 20 - Metas a atingir em 2020 [18] .....	17
Figura 21 - Metas e instrumentos para 2020 [10] .....	18
Figura 22 - Consumo de energia nos edifícios por setor de atividade [26] .....	20
Figura 23 - Evolução do consumo de Energia Final no setor dos Serviços [9] .....	20
Figura 24 - Classes da Certificação Energética em Edifícios [18] .....	23
Figura 25 - Exemplo de um Sistema de Gestão Técnica Centralizada [42] .....	31
Figura 26 - Grandezas luminotécnicas [47] .....	34
Figura 27 - Iluminância vs Luminância .....	34
Figura 28 - Exemplo de medição da iluminância .....	34
Figura 29 - Etiqueta Energética [48] .....	35
Figura 30 - Temperatura de cor [49] .....	35
Figura 31 - Fontes de luz artificial [51] .....	36
Figura 32 - Lâmpada Incandescente [55] .....	37
Figura 33 - Lâmpada de Halogéneo [57] .....	37
Figura 34 - Lâmpada fluorescente tubular [58] .....	39
Figura 35 - Lâmpada fluorescente compacta [52] .....	39
Figura 36 - Lâmpadas LED [63] .....	41
Figura 37 - Consumos típicos dos balastros com as respetivas lâmpadas [65] .....	42
Figura 38 - Controlo da iluminação artificial [68] .....	44
Figura 39 - Regulador manual de fluxo [59] .....	44
Figura 40 - Circuito do interruptor on/off [59] .....	44
Figura 41 - Exemplo de um sistema de controlo de iluminação [68] .....	45
Figura 42 - Exemplo de um sistema de controlo de iluminação [71] .....	47
Figura 43 - Exemplo típico de um sistema AVAC [38] .....	48
Figura 44 - Sistema tudo-ar com conduta simples [74] .....	49
Figura 45 - Sistema tudo-ar com duas condutas [74] .....	50
Figura 46 - Ciclo de refrigeração por compressão [78] .....	53
Figura 47- Esquema de uma bomba de calor (Dimplex) .....	53

Figura 48 - Unidade de tratamento de ar de via simples .....	55
Figura 49 - Unidade de tratamento de ar de via dupla.....	55
Figura 50 - Biblioteca da Universidade de Aveiro .....	57
Figura 51 - Terceiro piso da biblioteca.....	58
Figura 52 - Quarto piso da biblioteca .....	59
Figura 53 - Luminária com duas lâmpadas fluorescentes compactas.....	60
Figura 54 - Candeeiros nas mesas de estudo com duas lâmpadas fluorescentes compactas .....	61
Figura 55 - Lâmpadas fluorescentes tubulares instaladas nas estantes.....	61
Figura 56 - Lâmpada incandescente num gabinete de estudo individual .....	62
Figura 57- Comparação por tipo de lâmpada .....	64
Figura 58 - Potência instalada por piso .....	64
Figura 59 - Energia elétrica consumida por zona em iluminação.....	66
Figura 60 - Coletores do sistema de climatização e eletrobombas de circulação .....	70
Figura 61 - Configuração dos horários de funcionamento das eletrobombas.....	73
Figura 62 - Sistema de aquecimento no SGT .....	73
Figura 63 - Configuração do horário de funcionamento dos chillers .....	74
Figura 64 - Sistema de arrefecimento no SGT .....	74
Figura 65 - Coletores do sistema de arrefecimento .....	75
Figura 66 - Configuração do funcionamento do chiller no SGT .....	75
Figura 67 - Componentes da UTAN.....	76
Figura 68 - Configuração do funcionamento da UTAN no SGT.....	76
Figura 69 - Analisador de energia do quadro AVAC no SGT.....	77
Figura 70 - Gráfico de temperaturas no SGT .....	78
Figura 71 - Coletores do sistema de aquecimento .....	79
Figura 72 - Caldeira a gás natural.....	80
Figura 73 - Caldeiras a gás natural em paralelo.....	80
Figura 74 - Queimador de gás natural .....	80
Figura 75 - Eletrobombas de circulação do sistema de aquecimento .....	81
Figura 76 - Sistema de arrefecimento no SGT .....	81
Figura 77 - Coletores do sistema de arrefecimento .....	82
Figura 78 - Chillers instalados no exterior do edifício .....	82
Figura 79 - Eletrobombas do sistema de arrefecimento .....	83
Figura 80 - Ventilador convetor instalado num dos salões de leitura .....	85
Figura 81 - Regulação do ventilador convetor.....	85
Figura 82 - Radiador instalado na zona de circulação .....	86
Figura 83 - Radiador instalado numa sala de estudo de grupo .....	86
Figura 84 - Insuflação de ar através dos difusores na zona sul.....	86
Figura 85 - Insuflação de ar através de grelhas .....	86
Figura 86 - Insuflação de ar através de grelhas nos salões de leitura .....	86
Figura 87 - Insuflação de ar através dos difusores na zona norte .....	86
Figura 88 - Extração de ar nas I.S. ....	87
Figura 89 - Insuflação de ar nos gabinetes de estudo individual .....	87
Figura 90 - Extração de ar nos salões de leitura .....	87
Figura 91 - Evolução do consumo de energia elétrica no quadro AVAC no mês de março.....	88
Figura 92 - Custos com energia em 2016.....	93
Figura 93 - Consumo energético em 2016.....	93
Figura 94 - Consumo energético em 2017.....	94
Figura 95 - Custos com energia em 2017 .....	94
Figura 96 - Consumo de eletricidade e gás natural no edifício.....	95
Figura 97 - Média do consumo de Energia Primária nos últimos quatro anos .....	95

Figura 98 - Consumo de energia final em 2016 .....	96
Figura 99 - Consumo de energia final em 2017 .....	96
Figura 100 - Consumo de energia em 2016 e 2017 .....	96
Figura 101 - Evolução dos consumos em 2016 e 2017 .....	97
Figura 102 - Desagregação do consumo de energia elétrica por setor.....	98
Figura 103 - Evolução do consumo anual de energia elétrica .....	100
Figura 104 - Média do consumo mensal de energia elétrica nos últimos quatro anos.....	100
Figura 105 - Evolução do consumo de energia elétrica por mês nos últimos quatro anos .....	101
Figura 106 - Consumo de energia elétrica por mês em 2016 e 2017.....	101
Figura 107 - Diagrama de carga típico de um dia de Verão .....	102
Figura 108 - Diagrama de carga típico de um Sábado de Verão .....	103
Figura 109 - Diagrama de carga de uma semana típica de Verão.....	104
Figura 110 - Diagrama de carga cíclico de Verão .....	104
Figura 111 - Diagrama de carga de um dia típico de Inverno .....	105
Figura 112 - Diagrama de carga típico de um Sábado de Inverno.....	105
Figura 113 - Diagrama de carga de uma semana típica de Inverno .....	106
Figura 114 - Diagrama de carga cíclico de Inverno.....	107
Figura 115 - Comparação dos diagramas de carga de um dia típico de Verão e Inverno.....	107
Figura 116 - Comparação dos diagramas de carga de um Sábado típico de Verão e Inverno .....	108
Figura 117 - Comparação dos diagramas de carga semanais de Verão e Inverno .....	108
Figura 118 - Comparação dos diagramas de carga cíclicos de Verão e Inverno .....	109
Figura 119 - Ciclo horário semanal em Portugal Continental .....	110
Figura 120 - Energia elétrica consumida por período horário .....	111
Figura 121 - Períodos horários com mais consumo de energia elétrica.....	111
Figura 122 - Evolução do consumo de energia elétrica por período horário .....	111
Figura 123 - Evolução do custo com energia elétrica por período horário .....	112
Figura 124 - Consumo anual de gás natural .....	113
Figura 125 - Evolução do consumo de gás natural por mês e ano.....	114
Figura 126 - Variação do consumo de gás natural em 2017.....	114
Figura 127 - Método de conversão de m <sup>3</sup> para kWh (adaptado de endesa) .....	115
Figura 128 - Emissão de CO <sub>2</sub> em 2017 por energia primária .....	117
Figura 129 - Emissão de CO <sub>2</sub> em 2016 por energia primária .....	117
Figura 130 - Variação do consumo de energia elétrica em 2017 com a temperatura média exterior mensal	119
Figura 131 - Classificação dos tipos de correlação.....	120
Figura 132 - Fórmula de cálculo da correlação entre duas variáveis .....	120
Figura 133- Réguas de lâmpadas LED instaladas atualmente .....	126
Figura 134 - Lâmpadas fluorescentes tubulares anteriores á remodelação.....	126
Figura 135 - Iluminação LED (esquerda) e iluminação fluorescente (direita) .....	126
Figura 136 - Variação do consumo de gás natural com a temperatura média exterior .....	134
Figura 137 - Grupo de queima automático de Biomassa Moderator AZSB .....	140
Figura 138 - Planta do Piso 1 .....	161
Figura 139 - Planta do Piso 2 .....	162
Figura 140 - Planta do Piso 3 .....	163
Figura 141 - Planta do Piso 4 .....	164

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Exemplo da poupança obtida com a substituição de lâmpadas .....	28
Tabela 2 – Áreas dos principais espaços da biblioteca .....	58
Tabela 3 - Lâmpadas existentes no Piso 1 .....	62
Tabela 4 - Lâmpadas existentes no Piso 2 .....	63
Tabela 5 - Lâmpadas existentes no Piso 3 .....	63
Tabela 6 - Lâmpadas existentes no Piso 4 .....	63
Tabela 7 - Total de lâmpadas existentes no edifício .....	64
Tabela 8 - Potência instalada por piso .....	64
Tabela 9 - Consumo de energia elétrica do sistema de iluminação .....	65
Tabela 10 - Níveis de iluminância no Piso 1 .....	67
Tabela 11 - Níveis de iluminância no Piso 2 .....	67
Tabela 12 - Níveis de iluminância no Piso 3 .....	68
Tabela 13 - Níveis de Iluminância no Piso 4 .....	68
Tabela 14 - Características das eletrobombas do sistema de aquecimento .....	81
Tabela 15 - Zonas climatizadas pelas respectivas UTAN .....	85
Tabela 16 - Energia elétrica consumida de janeiro a março de 2017 .....	88
Tabela 17 - Energia elétrica consumida pelas UTAN .....	88
Tabela 18 - Consumo de energia elétrica das eletrobombas do sistema de aquecimento .....	89
Tabela 19 - Energia elétrica consumida pelos equipamentos do sistema de aquecimento .....	89
Tabela 20 - Consumo de energia elétrica dos chillers .....	89
Tabela 21 - Consumo de energia elétrica dos chillers por mês, dia e hora .....	90
Tabela 22 - Energia elétrica consumida pelos chillers durante os três meses de funcionamento .....	90
Tabela 23 - Consumido de energia elétrica das eletrobombas do sistema de arrefecimento .....	90
Tabela 24 - Consumo de energia elétrica dos equipamentos do sistema de arrefecimento .....	90
Tabela 25 - Consumo global de energia elétrica associado ao sistema de climatização .....	91
Tabela 26 - Perfis de utilização dos equipamentos eletrônicos .....	91
Tabela 27 - Consumo de energia elétrica dos aparelhos eletrônicos .....	92
Tabela 28 - Análise energética global em 2016 .....	93
Tabela 29 - Análise energética global em 2017 .....	94
Tabela 30 - Consumo de energia elétrica anual por setor .....	98
Tabela 31 - Consumos de energia elétrica dos últimos quatro anos .....	98
Tabela 32 - Consumo mensal e anual de energia elétrica dos últimos quatro anos .....	99
Tabela 33 - Consumo de energia elétrica por período horário .....	110
Tabela 34 - Custos de energia elétrica por período horário .....	112
Tabela 35 - Tarifas aplicadas para o cálculo do custo de energia elétrica por período horário .....	113
Tabela 36 - Consumo anual de gás natural .....	113
Tabela 37 - Termos tarifários do gás natural .....	115
Tabela 38 - Consumos e custos de gás natural nos últimos quatro anos .....	115
Tabela 39 - Custos com gás natural .....	116
Tabela 40 - Emissões de CO <sub>2</sub> anuais .....	116
Tabela 41 - IEE real do edifício em (kWep/m <sup>2</sup> .ano) .....	118
Tabela 42 - IEE real do edifício em (kgep/m <sup>2</sup> .ano) .....	118
Tabela 43 - Correlação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura média exterior .....	121
Tabela 44 - Correlação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura média exterior apenas para a estação de aquecimento .....	121
Tabela 45 - Correlação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura média exterior, apenas para a estação de arrefecimento .....	121

Tabela 46 - Temperaturas consideradas para análise da variação do consumo de energia elétrica diário com a temperatura média diária exterior .....	122
Tabela 47 - Variação do consumo de energia elétrica diário com a temperatura média diária exterior .....	122
Tabela 48 - Correlação do consumo de gás natural com temperatura média exterior .....	123
Tabela 49 - Variação do consumo de gás natural diário com a temperatura média diária exterior .....	123
Tabela 50 - Consumo das lâmpadas fluorescentes tubulares vs lâmpadas LED nas estantes dos salões de leitura.....	126
Tabela 51 - Consumo estimado da iluminação LED nas mesas dos salões de leitura .....	127
Tabela 52 - Consumo e poupança estimada da iluminação LED com menor potência nas mesas dos salões de leitura.....	127
Tabela 53 - Consumos e poupanças estimadas com a implementação dos Cenários 1 e 2.....	128
Tabela 54 - Setpoints originais das UTAN.....	130
Tabela 55 - Horários de funcionamento originais e propostos para cada UTAN .....	130
Tabela 56 - Consumos e poupanças estimadas com a implementação dos Cenários 3.1 e 3.1.1 .....	131
Tabela 57 - Setpoints originais e setpoints propostos para o funcionamento da caldeira .....	131
Tabela 58 - Consumos e poupanças estimadas com a implementação dos Cenários 3.2 e 3.2.1 .....	132
Tabela 59 - Setpoints originais e setpoints propostos para o funcionamento dos chillers .....	132
Tabela 60 - Consumo e poupança estimada com a implementação do Cenário 3.3 .....	132
Tabela 61 - Horários de funcionamento originais e propostos para cada conjunto de eletrobombas .....	133
Tabela 62 - Consumos e poupanças estimadas com a implementação dos Cenários 3.4 e 3.4.1 .....	133
Tabela 63 - Horários de funcionamento originais e propostos para os computadores fixos.....	136
Tabela 64 - Consumo e poupança estimada com a implementação do Cenário 3.5 .....	136
Tabela 65 - Desperdício estimado do consumo de energia elétrica e gás natural .....	137
Tabela 66 – Viabilidade técnica e económica da implementação do Cenário 4.0.....	138
Tabela 67 - Consumo e poupança estimada com a implementação do Cenário 4.1 .....	139
Tabela 68 - Características técnicas do grupo de queima de biomassa .....	140
Tabela 69 - Consumo e poupança estimada com a implementação do Cenário 4.2 .....	142
Tabela 70 - Lâmpadas LED propostas para o Cenário 4.3 .....	143
Tabela 71 - Viabilidade técnica e económica da implementação do Cenário 4.3.....	144
Tabela 72 - Viabilidade técnica e económica da implementação dos Cenários 4.3+4.4 e 4.4.....	145
Tabela 73 - Viabilidade técnica e económica da implementação dos Cenários 4.3+4.5 e 4.5.....	146
Tabela 74 - Pressupostos assumidos para regulação da iluminação .....	147
Tabela 75 - Equipamentos propostos para implementação do Cenário 4.6 .....	148
Tabela 76 - Viabilidade técnica e económica da implementação do Cenário 4.6.....	148
Tabela 77 - Viabilidade técnica e económica da implementação do Cenário 4.7.....	149
Tabela 78 - Resumo das medidas propostas sem investimento .....	150
Tabela 79 - Conjuntos de cenários possíveis de implementar em simultâneo sem investimento .....	150
Tabela 80 - Resumo das medidas propostas com investimento.....	151
Tabela 81 - Divisões do Piso 1 .....	161
Tabela 82 - Divisões do Piso 2 .....	162
Tabela 83 - Divisões do Piso 3 .....	163
Tabela 84 - Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 1 .....	165
Tabela 85 - Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 2.....	166
Tabela 86 - Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 3.....	167
Tabela 87 - Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 4.....	168
Tabela 88 - Consumo detalhado do sistema de iluminação no piso 1 .....	169
Tabela 89 - Consumo detalhado do sistema de iluminação no Piso 2 .....	170
Tabela 90 - Consumo detalhado do sistema de iluminação no piso .....	171
Tabela 91 - Consumo detalhado do sistema de iluminação no Piso 4 .....	172
Tabela 92 - Iluminância medida no Piso 1 com iluminação natural a 100%.....	173

Tabela 93 - Iluminância medida no Piso 2 com iluminação natural a 100% e 0% .....	174
Tabela 94 - Iluminância medida no Piso 3 com iluminação natural a 100% .....	175
Tabela 95 - Iluminância medida no Piso 3 com iluminação natural a 0% .....	176
Tabela 96 - Iluminância medida no Piso 4 com iluminação natural a 100% e 0% .....	177

## Lista de abreviaturas

**AVAC** – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado  
**COP** – *Coefficient Of Performance*  
**DGEG** – Direção Geral de Energia e Geologia  
**ECO.AP** – Programa de Eficiência Energética na Administração Pública  
**EER** – *Energy Efficiency Ratio*  
**EPBD** – *Energy Performance of Buildings Directive*  
**ESE** – Empresas de Serviços de Energia  
**UE** – União Europeia  
**FCV** – Fator de Correção de Volume  
**FER** – Fontes de Energia Renováveis  
**GEE** – Gases de efeito de estufa  
**IEE** – Índice de Eficiência Energética  
**IRC** – Índice de Reprodução de Cor  
**IV** – Infravermelho  
**LED** – *Light-Emitting Diode*  
**OMM** – Organização Mundial de Saúde  
**PCS** – Poder Calorífico Superior  
**PIB** – Produto Interno Bruto  
**PNAEE** – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética  
**PNAER** – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis  
**PPEC** – Plano de Promoção de Eficiência Energética no Consumo de Energia Elétrica  
**PRE** – Plano de Racionalização de Energia  
**PRS** – Período de Retorno Simples  
**QAI** – Qualidade do Ar Interior  
**RCCTE** – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios  
**RNBC** – Roteiro Nacional de Baixo Carbono  
**RSECE** – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios  
**SCE** – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar interior  
**SGT** – Sistema de Gestão Técnica  
**SGTC** – Sistema de Gestão Técnica Centralizada  
**SGTL** – Serviços de Gestão Técnica e Logística  
**sTIC** – Serviços de Tecnologias de Informação e Comunicação  
**UA** – Universidade de Aveiro  
**URE** – Utilização Racional de Energia  
**UTA** – Unidade de Tratamento de Ar  
**UTAN** – Unidade de Tratamento de Ar Novo  
**VAC** – Volume de Ar Constante  
**VAV** – Volume de Ar Variável  
**VRV** – Volume de Refrigerante Variável





# **1. Introdução**

## **1.1. Contextualização**

No início do século XX as questões energéticas não apresentavam grande interesse como fonte de estudo e de melhoria, tanto da sociedade em geral como dos próprios governos, passando a ideia ilusória de que a sobrevivência das sociedades e o crescimento económico, poderiam continuar com base em utilização de fontes energéticas facilmente acessíveis, baratas e aparentemente inesgotáveis [1].

Atualmente, encontramos-nos numa era pautada por um grande consumo energético e pela consequente aceleração do aquecimento global e declínio ambiental revelando-se um dos maiores problemas da sociedade atual. O mais recente boletim da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) sobre os gases de efeito de estufa, revela que a concentração de dióxido de carbono na atmosfera atingiu níveis recorde em 2016, excedendo em mais de 50% sobre a média dos níveis da última década. Desde modo, a eficiência energética revela-se como um ponto fulcral para a sustentabilidade, em que a sua implementação depende unicamente do consumidor. Como tal, são necessárias mudanças de paradigma e de visão política e estratégica [2].

Para além do setor dos Transportes e da Indústria, o sector dos edifícios também apresenta um enorme consumo de energia, consequência do aumento dos padrões de vida dos ocupantes, do conforto e da qualidade interior e de um elevado número de equipamentos diversos que consomem energia. No entanto, sendo o setor que apresenta grande consumo energético, também poderá ser aquele em que poderemos retirar benefícios da eficiência energética, aproveitando um maior potencial em termos de poupança energética [3].

A biblioteca da Universidade de Aveiro enquadra-se nesta temática, uma vez que representa uma grande fatia do bolo energético do campus, sendo que será objeto de estudo no que respeita às condições de utilização de energia e possíveis medidas de melhoria de eficiência energética, a fim de reduzir os custos com a mesma.

## **1.2. Objetivos**

O presente trabalho efetuado sobre a Biblioteca da Universidade de Aveiro, tem por base identificar os diferentes equipamentos, processos e comportamentos com elevada capacidade de redução de consumos e custos com energia, fazendo um ponto da situação atualizado em relação ao tipo de soluções tecnologicamente existentes. Foram identificados, caracterizados e discriminados os vários consumos referentes ao edifício da biblioteca, onde após uma análise profunda, se propõe soluções energeticamente eficientes, a fim de se conseguir reduzir e otimizar os consumos energéticos.

O objetivo da análise do consumo de energia é proporcionar conhecimentos sobre a forma como é consumida e desperdiçada, de forma a encontrar soluções racionais destinadas a uma utilização

mais eficiente dos recursos energéticos e a fim de melhorar o nível de conforto dentro do edifício, reduzindo também os custos de operação e manutenção.

A análise energética realizada tem como principal objetivo, a caracterização energética detalhada do edifício da biblioteca da Universidade de Aveiro, contemplando a análise dos sistemas energéticos presentes no mesmo e recolhendo diversos dados que possibilitem a identificação de medidas de eficiência energética no edifício. Os principais objetivos são:

- Análise do estado de arte, a fim de proporcionar conhecimentos para viabilizar o presente estudo;
- Levantamento exaustivo dos dados mais relevantes do edifício em estudo, dos quais se destacam as plantas dos quatro pisos, do sistema de climatização e iluminação e equipamentos eletrónicos existentes;
- Análise energética do edifício, nomeadamente aos consumos de energia elétrica e gás natural e aos períodos de funcionamento dos equipamentos dos sistemas acima descritos;
- Análise de potenciais medidas e soluções energéticas eficientes, que possam reduzir o consumo de energia no edifício;
- Análise da viabilidade técnica e económica das medidas propostas, apresentando um estudo final sobre quais as medidas que possam apresentar resultados mais satisfatórios em termos de retorno financeiro e poupança energética.

As medidas de utilização racional de energia encontradas e refletidas no final deste trabalho, traduzem-se efetivamente em ganhos na fatura energética, através do potencial de poupança obtido com as várias medidas propostas.

### **1.3. Estrutura do trabalho**

O primeiro capítulo descreve a contextualização da temática que motivou a realização deste trabalho, apresentando os seus principais objetivos.

O segundo capítulo caracteriza a situação energética europeia e nacional, elucidando sobre as principais políticas e medidas energéticas, dando mais foco às medidas para a melhoria da eficiência energética em edifícios. São também descritas as principais soluções tecnológicas existentes relativas aos sistemas estudados (iluminação e climatização), abordando também a gestão de energia em edifícios.

O terceiro capítulo já aborda o caso de estudo, onde é feito um levantamento dos equipamentos mais relevantes, relativos a cada sistema (climatização, iluminação), dos equipamentos eletrónicos existentes e é efetuada uma estimativa dos consumos de energia respetivos a cada sistema, desagregando posteriormente os consumos associados a cada setor (climatização, iluminação e

equipamentos). É efetuada uma análise energética global ao edifício, detalhando os consumos energéticos mais relevantes, as emissões de dióxido de carbono e a determinação do índice de eficiência energética. É também analisada a correlação existente entre os consumos de energia elétrica e gás natural e a temperatura média exterior.

No quarto capítulo, propõe-se medidas possíveis de reduzir os consumos energéticos podendo ou não implicar investimento financeiro. É realizada uma análise da viabilidade técnica e económica da implementação das medidas propostas, permitindo concluir quais as medidas que apresentam um período de retorno financeiro satisfatório, bem como uma boa capacidade de redução do consumo de energia sem qualquer investimento inicial.

Por fim, no quinto capítulo é feita uma análise do cumprimento dos objetivos inicialmente propostos, apresentando propostas e recomendações para trabalhos futuros.



## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1. Enquadramento energético

O crescimento e a evolução global das últimas décadas traduziram-se num grande aumento da procura de energia, desencadeando a criação de mecanismos e processos para a obtenção da mesma, de forma insustentável. Até então, os combustíveis fósseis, nomeadamente o carvão, o petróleo e o gás natural foram os agentes responsáveis pela produção de energia, cuja sua utilização produz efeitos secundários negativos, como a libertação de gases contribuindo para o efeito de estufa, e consequente alterações climáticas, tema que muitas preocupações acarreta [4].

O ano de 2007 ficou marcado como sendo um ponto de viragem no que respeita às questões ambientais do planeta. A meta definida pela UE dos 20-20-20 até 2020 foi uma das soluções encontradas para combater e mitigar os problemas ambientais e da escassez de reservas de fontes naturais presentes na atualidade [5].

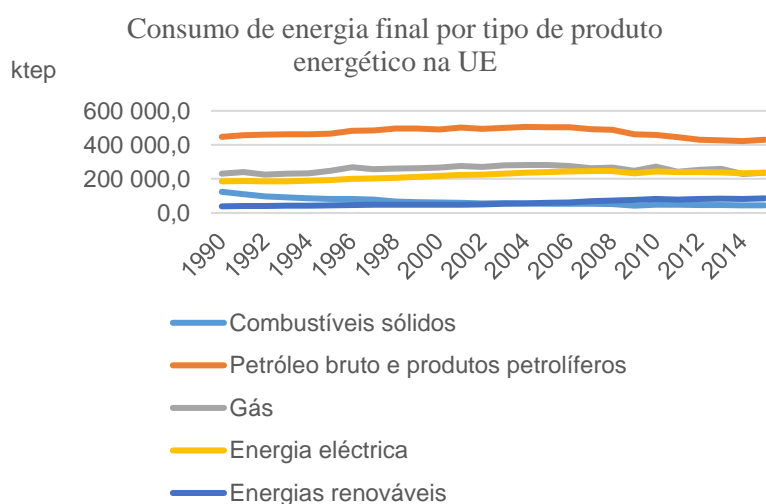


Figura 1 - Consumo de Energia Final por tipo de produto energético na UE [9]

A estratégia energética nacional está focada nas metas a serem atingidas, a par de um desenvolvimento económico sustentável. Neste sentido as energias renováveis e as medidas de eficiência energética tornam-se em questões de abordagem diária, representando uma grande fonte de investimento, desenvolvimento económico, social e tecnológico. Atualmente, as sociedades necessitam cada vez mais energia para efeitos de conforto e bem-estar, tanto nos países industrializados, como nos países ainda em desenvolvimento, traduzindo-se num aumento do consumo de energia. Posto isto, o tema do excesso de consumo de energia está presente nas questões político-económicas de qualquer país à escala mundial [1].

As necessidades de aquecimento e refrigeração dos edifícios representam uma grande fonte de procura de energia na Europa. Cerca de 75% dos edifícios existentes em Portugal, públicos e

privados, têm um desempenho energético abaixo dos requisitos da EPBD (*Energy Performance in Buildings Directive*). O potencial do ganho com a redução do consumo de energia nos edifícios é enorme, sendo que mais de 50% do consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética. Muitas empresas e instituições já reconhecem estes desafios, percebendo que podem ser alcançados resultados muito significativos, através da integração de processos convencionais e novas tecnologias que potenciam e otimizam a utilização dos recursos energéticos. A eficiência energética e a sustentabilidade aliada à poupança são um grande impulsionador no aparecimento de novas linhas de orientação e novas soluções de racionalização energética. A par disto, à medida que 2020 se torna um horizonte cada vez mais próximo, é imperativo começar a pensar a longo prazo e ajustar as estratégias e as políticas energéticas aos tempos atuais [6].

Ao mesmo tempo, é necessário dar foco à racionalização do consumo energético, alterando os padrões de comportamento na forma como os ocupantes utilizam os edifícios. Essas alterações comportamentais não devem desencadear algum tipo de desconforto, ou redução de recursos, mas sim promover mudanças nas ações dos ocupantes e o acesso à informação relativa à quantidade de energia consumida e desperdiçada, a fim de poderem optar por soluções mais eficientes. No entanto, existem sempre variadíssimos obstáculos: a mudança de paradigma no comportamento energético do edifício não é uma prioridade para a maioria das pessoas e empresas, uma vez que estas estratégias não têm um retorno financeiro imediato [7].

Já não falta muito tempo para 2020, em que todos os edifícios novos deverão ser altamente eficientes e ter um balanço energético próximo de zero, pelo que é necessário alterar este paradigma com urgência. O conceito já se pratica na atualidade, mas vai passar a ser obrigatório, onde cada estado-membro terá a liberdade de encontrar as metodologias para atingir as metas propostas [7].

## 2.2. A Energia e a Europa

A redução do consumo energético, da emissão de gases com efeito de estufa e a dependência energética do exterior são dos principais temas que estão atualmente presentes nas prioridades da Europa a par da sustentabilidade e da segurança no abastecimento de energia. As soluções passam pela eficiência energética e independência relativamente aos combustíveis fósseis [8][9].

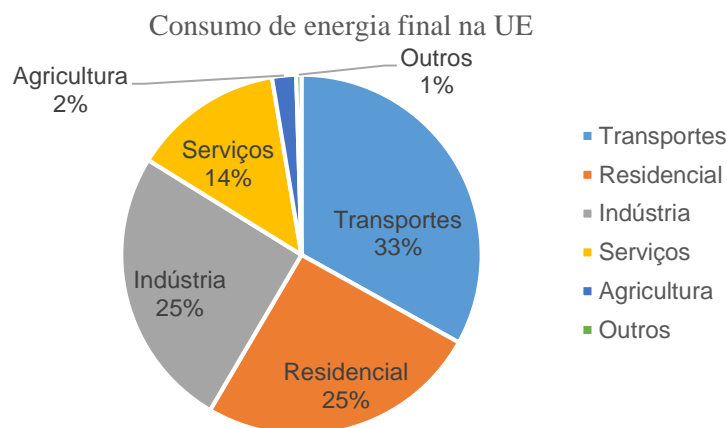


Figura 2 - Consumo de Energia Final na UE [9]

Os dados obtidos revelam que na União Europeia, é no setor dos transportes que mais energia se consome, representando 33%, seguido do setor industrial com 25%, a par também do setor residencial. O setor dos serviços representa 14% do consumo total de energia final na UE. A meta dos 20-20-20 tem orientado os países europeus na criação e implementação de políticas que permitam uma redução de 20% na emissão de GEE, uma quota de 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto, e uma redução de 20% no consumo de energia primária através da eficiência energética para o ano de 2020 [10].

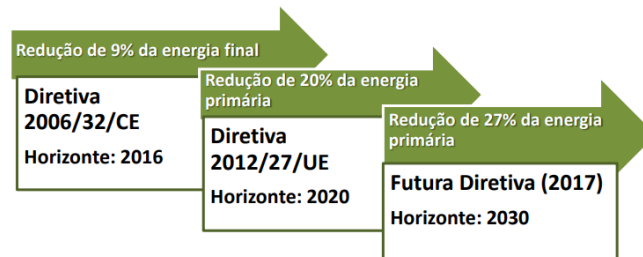


Figura 3 - Metas Europeias para a eficiência energética [11]

Atualmente, a crise económica presente na Europa tem comprometido estas metas. As dificuldades financeiras mudaram de certa forma o paradigma e as estratégias das políticas energéticas traçadas pela Europa, pelo que estão em constante ajustamento. Em 2011, a Comissão Europeia apresentou o roteiro para uma economia de baixo carbono em 2050, que prevê a redução entre 80% a 90% das emissões GEE face aos níveis de 1990, revelando os caminhos possíveis a seguir, que passam pela descarbonização do sistema energético, eficiência energética e energias renováveis [11].



Figura 4 - Principais medidas de promoção da Eficiência Energética previstas na Diretiva 2012/27/EU [11]

## 2.3. Situação Energética Nacional

Portugal é um país com escassos recursos energéticos de origem fóssil, o que não permite que seja autossuficiente para suprir com as suas necessidades energéticas. A importação desses combustíveis (como petróleo, carvão e gás) torna-se a única alternativa, conduzindo a uma elevada dependência energética do exterior em termos de energia primária [12].

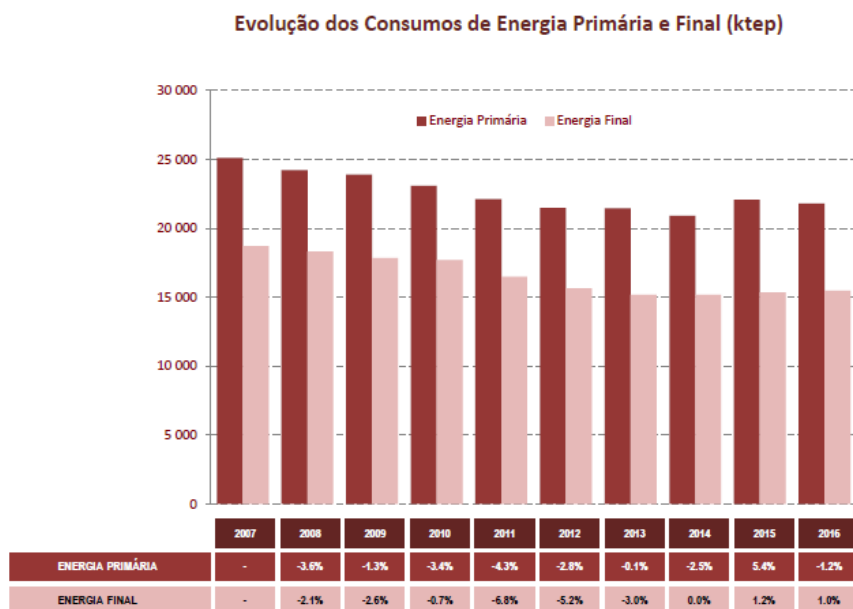


Figura 5 - Evolução dos consumos de energia primária e final em Portugal [12]

O consumo de energia primária em 2016, desceu 1,2% relativamente a 2015, sobretudo devido à redução do consumo de carvão nas centrais termoelétricas. O consumo de energia final aumentou 1% relativamente a 2015, devido à subida do consumo dos produtos petrolíferos e da eletricidade [13].

### 2.3.1. Energia Primária

Em 2015, o consumo de energia primária foi de 22 060 ktep (20 921 ktep registado em 2014), refletindo um aumento de 5,4% face ao ano anterior, invertendo a tendência de decréscimo desde 2011. Este aumento do consumo de energia primária em 2015 foi causado principalmente pelo aumento de consumo de carvão (+21,5%) e de gás natural (+17,5%), face a 2014, devido à sua maior utilização nas centrais térmicas para produção de energia elétrica. Esta situação deveu-se ao decréscimo da produção de eletricidade pelas centrais hidroelétricas, pelo facto do ano de 2015 ter sido extremamente seco. Verificou-se ainda um aumento de consumo de petróleo (+3,9%) no mesmo período [14].



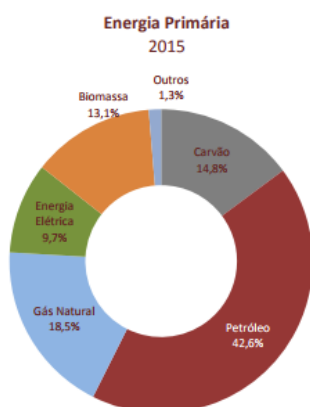


Figura 6 - Energia Primária em Portugal em 2015 [13]

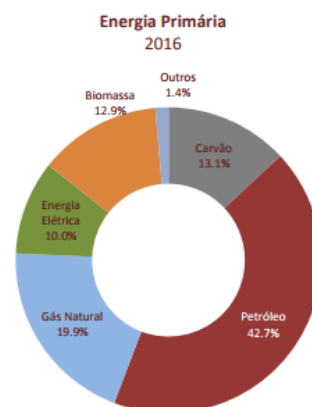


Figura 7 - Energia Primária em Portugal em 2016 [12]

Em 2015, o petróleo representou 42,6% da energia primária consumida (43,4% em 2014), seguido pelo gás natural como a segunda fonte energética mais consumida com 18,5% (16,7% em 2014) e do carvão com 14,8% (12,8% em 2014). Já em 2016, o petróleo representou cerca de 42,7% da energia primária consumida, seguido pelo gás natural como a segunda fonte energética mais consumida com 19,9% e do carvão com 13,1%. O consumo de energia primária foi de 21 788 ktep, refletindo uma diminuição de 1,2% face ao ano anterior. Esta ligeira redução do consumo de energia primária em 2016 deveu-se principalmente pela redução do consumo de carvão nas centrais termoeletricas [12], [13], [14].

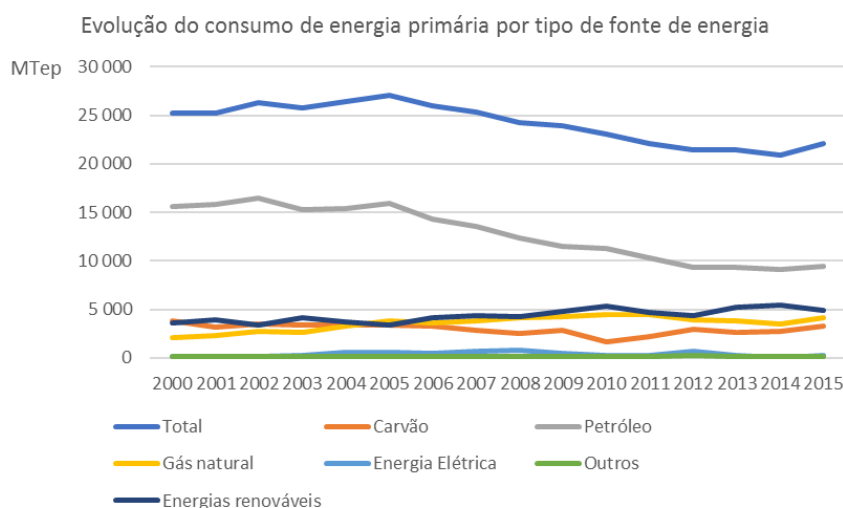


Figura 8 - Evolução do consumo de Energia Primária em Portugal por tipo de fonte de energia [9]

### 2.3.2. Energia Final

O consumo de energia final em Portugal foi de 15 351 ktep em 2015, mais 1,2% face a 2014. O aumento do consumo de energia final em 2015 face a 2014 foi praticamente extensível a todos os setores. [14]

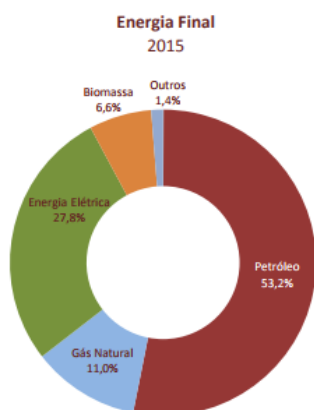


Figura 10 - Energia Final em Portugal em 2015 [14]

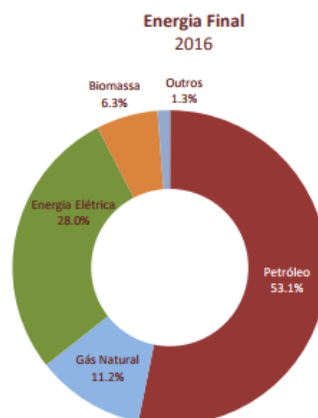


Figura 9 - Energia Final em Portugal em 2016 [13]

O consumo de energia final em 2015 foi superior relação ao ano transato, devido sobretudo à subida dos consumos dos combustíveis rodoviários, gás natural e eletricidade. Em 2015, o petróleo representou 53,2% da energia final consumida, seguido pela energia elétrica com 27,8% como segunda fonte energética mais consumida e o gás natural com 11% [14].

O consumo de energia final em 2016 foi de 15 480 ktep, crescendo 1% relativamente a 2015. O consumo final de produtos derivados do petróleo subiu 1,3%, quando comparado com o consumo do ano anterior. O consumo global de gás natural subiu cerca de 6% devido ao contributo das centrais termoeletricas dedicadas, enquanto o consumo final desta fonte de energia teve uma redução de 0,9%. O consumo final de eletricidade cresceu 1,8% [13].

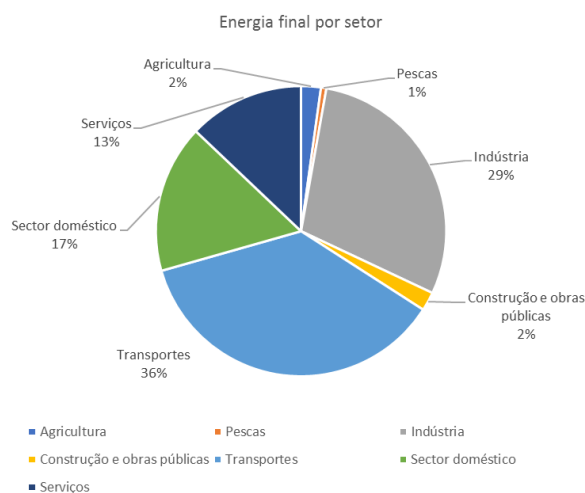


Figura 11 - Energia Final por setor em Portugal em 2016 [9]

Em 2016, o setor dos transportes foi responsável por 36% do consumo final, a indústria por 29%, o setor residencial, 17 % e os serviços por 13%. O aumento do consumo de energia final em 2015 face a 2014 foi praticamente extensível a todos os setores [15].

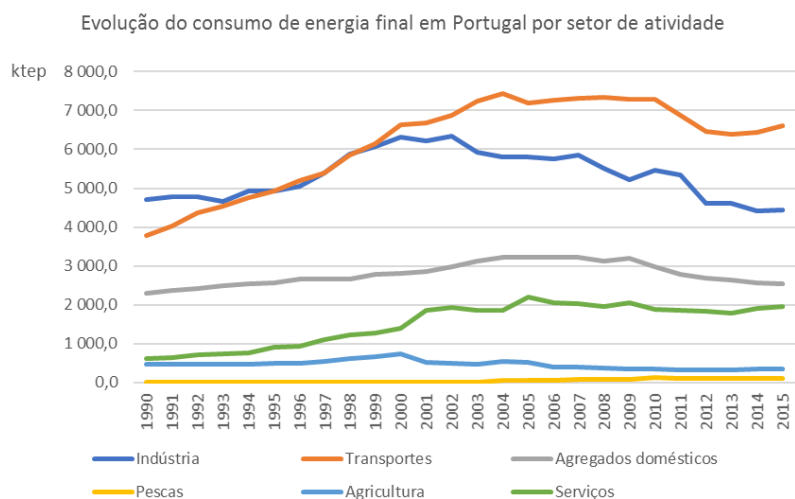


Figura 12 - Evolução do consumo de Energia Final em Portugal por setor de atividade [9]

### 2.3.3. Consumo de energia elétrica

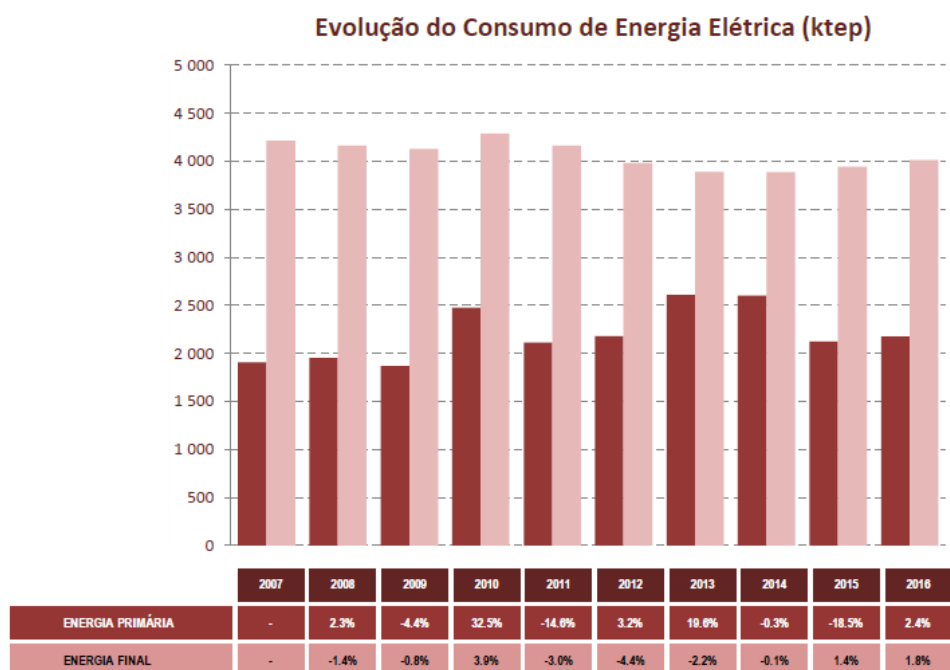


Figura 13 - Evolução do consumo de energia elétrica em Portugal [12]

O consumo final de eletricidade em 2015 foi de 3 940 ktep, com um aumento de 1,4% face a 2014 e representando cerca de 27,8% do consumo final de energia (25,6% em 2014). Já em 2016 aumentou 1,8% em relação a 2015 no consumo final [13].

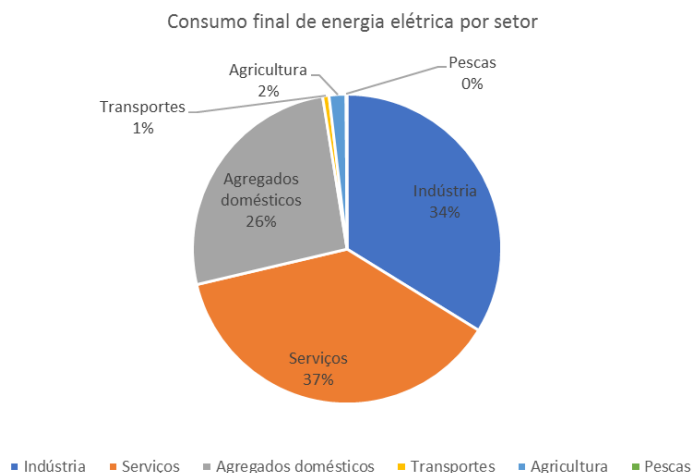


Figura 14 - Consumo final de energia elétrica por setor de atividade em 2016 [9]

O setor dos serviços foi responsável por 37% do consumo final de eletricidade em 2015, seguido pela indústria com 34% e pelo setor doméstico com 26%. Face a 2014, todos os setores aumentaram o consumo final de eletricidade em 2015 [16].

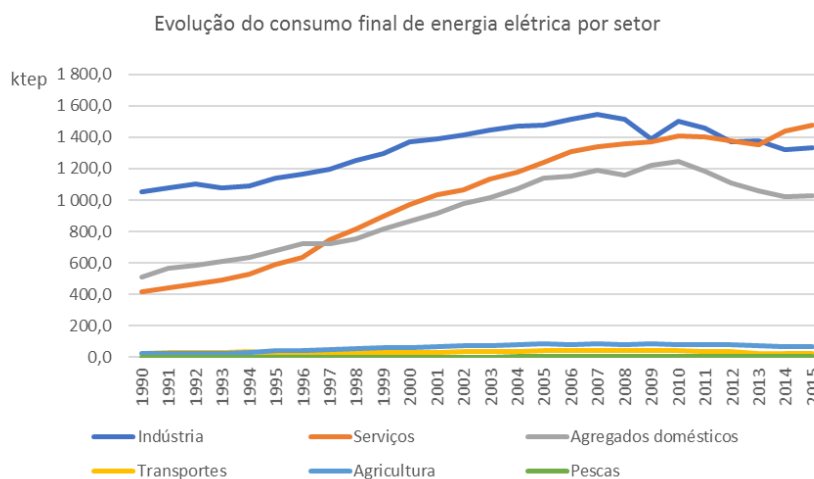


Figura 15 - Evolução do consumo final de energia elétrica por setor de atividade [9]

#### 2.3.4. Intensidade e dependência energética

A intensidade energética de uma economia consiste na razão entre o consumo interno de energia e o seu Produto Interno Bruto (PIB). Normalmente, o crescimento económico implica um aumento do consumo de energia. Este indicador permite reconhecer a desejada dissociação entre o consumo de energia e o crescimento económico. A dissociação relativa verifica-se quando o aumento do

consumo de energia é mais lento do que o crescimento económico. Se o consumo de energia estabilizar ou diminuir, enquanto o PIB continua a crescer, temos a dissociação absoluta entre estas duas variáveis, associada à natural redução dos impactos negativos sobre o ambiente. A intensidade energética em energia primária mede a quantidade de energia primária necessária para produzir uma unidade de PIB [16], [17].

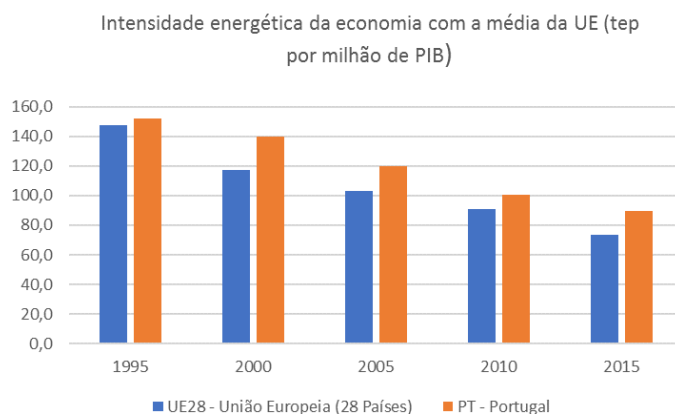


Figura 16 - Intensidade Energética da economia comparativamente á média da UE [9]

A aposta em medidas de eficiência energética e gestão de energia começa a ser visível nos níveis de intensidade energética da economia portuguesa, que têm vindo a diminuir desde 1995, começando a convergir com a média da União Europeia a 28 (UE-28), ainda que tenha, sempre, apresentado valores superiores.

Em 2015, a intensidade energética em energia primária atingiu o máximo no período em análise (128,7 tep/milhão €), como resultado do aumento do consumo de energia primária (+5,4%) ter sido superior ao verificado no PIB (+1,6%). Desta forma, para Portugal produzir a mesma riqueza, consumiu, em 2015, mais energia primária do que em qualquer um dos outros anos do período em análise [16].

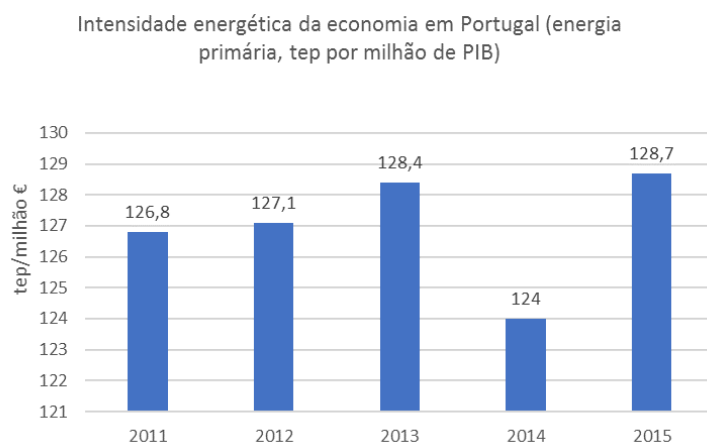


Figura 17 - Intensidade Energética da economia em Portugal [9]

Após o aumento de 2,3% que este indicador apresentou entre 2011 e 2013, promovido pelo maior decréscimo do PIB (-5,1%) face ao decréscimo do consumo de energia primária (-2,9%), atingiu-se, em 2014, o mínimo da intensidade energética em energia primária do período em análise, com um decréscimo de 3,4% face a 2013, situando-se em 124,0 tep/milhão €, devido ao decréscimo de 2,5% no consumo de energia primária face ao aumento do PIB em 0,9%. A intensidade energética em energia final é calculada tendo em conta o PIB e o consumo de energia final, traduzindo a quantidade de energia final necessária para produzir uma unidade de PIB [16].

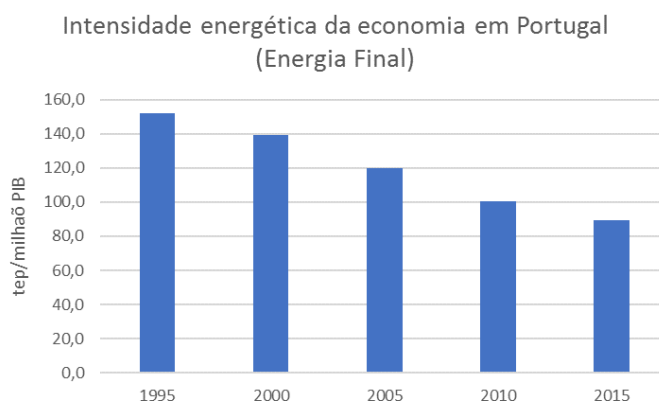


Figura 18 - Intensidade Energética da economia em Portugal [9]

Entre 2011 e 2015 verificou-se um decréscimo progressivo de 3,7% neste indicador, o que significa que Portugal, para produzir a mesma riqueza, consumiu menos energia final no período em análise. No entanto, é de referir que este decréscimo ocorreu de forma diferente em dois períodos distintos: entre 2011 e 2013, o decréscimo deu-se pelo maior decréscimo no consumo de energia final (-7,4%) face ao decréscimo registado pelo PIB no mesmo período (-5,1%); de 2013 a 2015, o decréscimo ocorreu pelo maior aumento do PIB (+2,5%) face ao aumento registado no consumo de energia final (+1,2%) [16].

O sistema energético nacional caracteriza-se então, por uma forte dependência externa e por uma elevada intensidade energética do produto interno bruto (PIB). Esta situação está essencialmente associada a três fatores [8]:

- É um país que incorpora um elevado consumo de energia final para produzir uma unidade de produto interno bruto;
- Possui uma grade dependência energética do petróleo. O petróleo satisfaz cerca de 43% do consumo de energia primária em Portugal.
- Ausência de capacidade interna de produção de petróleo e gás natural.

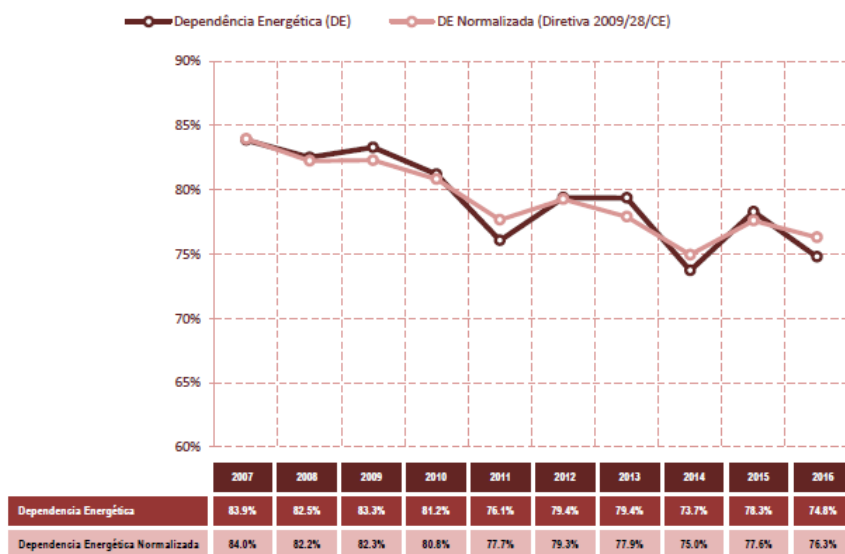


Figura 19 - Dependência Energética de Portugal [12]

A segurança de abastecimento está estreitamente ligada à evolução da procura energética, pois o constante crescimento da procura implica maiores riscos que lhe estejam associados, o que implica diversificar as fontes de abastecimento que estão principalmente ligadas ao petróleo e ao gás natural, nomeadamente através da aposta nas energias renováveis e na promoção de medidas de eficiência energética. A dependência atual de Portugal e da maioria dos países ocidentais, relativa a uma pequena quantidade de fontes de abastecimento que estão maioritariamente ligadas ao petróleo e ao gás natural, conduz a um incremento da insegurança de abastecimento, agravando-se ainda mais quando existe uma grande dependência do exterior e pelas constantes alterações do preço do petróleo [8], [13], [17].

Em 2015, cerca de 78,3% da energia primária consumida em Portugal foi importada. Face a 2014, a dependência energética nacional aumentou 5,9 p.p. em 2015, o que se deveu sobretudo ao aumento das importações de carvão e gás natural, resultante do aumento de consumo destes combustíveis no setor de produção de eletricidade. Após, em 2014, ter alcançado o valor mais baixo dos últimos vinte anos com 73,7%, a dependência energética de Portugal face ao exterior voltou a subir, em 2015, alcançando o valor de 78,3%. O aumento deve-se sobretudo ao acréscimo de 14,2% na importação dos produtos energéticos, principalmente carvão e gás natural, bem como pela redução de cerca de 20% na produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Em 2016, a dependência energética face ao exterior reduziu para 74,8%, devido sobretudo à redução do saldo importador, fortemente influenciado pela menor utilização da hulha nas centrais termoelétricas, cuja quebra na produção foi compensada pelas centrais hidroelétricas [13], [14], [16], [17].

Dado isto, a dependência energética tem vindo a diminuir recentemente, comprovando a aposta de Portugal em fontes de energia renováveis como a energia eólica e a hidroelétrica. Por outro lado, em resultado da crise económica, o país sofreu uma retração nos consumos energéticos.

A redução de 5,3% no saldo importador dos produtos energéticos, fortemente influenciado pela menor utilização do carvão nas centrais termoelétricas, cuja quebra na produção foi compensada pelo aumento de 35% da produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como as centrais hidroelétricas, permitiu que a dependência energética sofresse uma redução de 3,5%, passando de 78,3% em 2015 para 74,8% em 2016 [13].

A dependência energética é calculada a partir da expressão [13]:

$$\text{Dependência Energética [\%]} = \frac{\text{Imp} - \text{Exp}}{\text{CEP} + \text{NMI} + \text{AI}} \times 100$$

Em que:

Imp = Importações

Exp = Exportações

CEP = Consumo de Energia Primária

NMI = Navegação Marítima Internacional

AI = Aviação internacional

Segundo os dados da DGEG, em 2016 Portugal importou em várias fontes de energia 25,38 Mtep, dos quais 17,34 Mtep foram petróleo, 4,3 Mtep foram gás natural e 3 Mtep foram carvão. Houve ainda importações, mais residuais, de eletricidade e biomassa. Em 2016, o carvão e o petróleo sofreram reduções no volume importado por Portugal. Já a importação de gás natural cresceu, associada à produção de eletricidade. As exportações energéticas nacionais no ano passado situaram-se em 9,5 milhões de tep, devido principalmente aos produtos petrolíferos (7,96 Mtep), à eletricidade (ktep), biomassa (344 ktep).

## 2.4. Política Energética Nacional

Os objetivos da política energética - segurança no abastecimento, crescimento económico e competitividade e sustentabilidade ambiental - continuam a ser as principais temáticas neste domínio, sobretudo para um país como Portugal, que tem um elevado grau de dependência externa. A política nacional para as Fontes de Energia Renováveis (FER) está integrada numa nova visão para 2020 do setor energético, tendo como principal objetivo colocar a energia ao serviço da economia e das famílias, garantindo em simultâneo a sustentabilidade de preços. Em resultado dos compromissos assumidos por Portugal dentro do quadro da UE e tendo por base a aposta num modelo energético racional e sustentável, Portugal têm vindo a desenvolver programas, planos e legislações, que permitam alcançar os objetivos fixados pelas metas impostas por parte da UE [18].

No domínio da eficiência energética, foi definido em 2008 o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e em 2010, foi apresentado o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), no domínio das fontes renováveis.



Tendo em conta estas novas orientações, resultaram novos objetivos indicados na revisão destes dois planos que foram traçados a fim de cumprir com metas para 2020, traduzindo-se em valores muito específicos para Portugal em termos de eficiência energética. Definiu-se uma meta geral de redução no consumo de energia primária de 25% e uma meta específica de redução de 30% na Administração Pública. Já em relação ao uso de energia por via de fontes renováveis, Portugal está comprometido com uma meta de 31% do consumo final bruto de energia e de 10% no sector dos transportes, até 2020, e que seja cumprido com o menor custo para a economia. Ao mesmo tempo, a redução da dependência energética é também uma prioridade, através da promoção de uma matriz energética equilibrada [19].

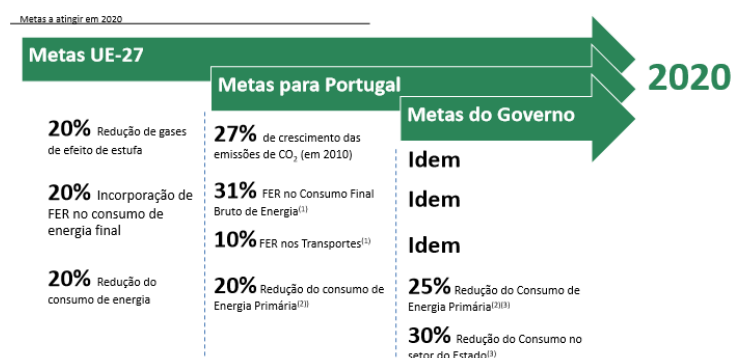


Figura 20 - Metas a atingir em 2020 [18]

Estes objetivos, foram traçados com base nas metas europeias, a fim de reduzir a dependência energética do país e garantir a segurança de abastecimento, promovendo um *mix* energético equilibrado. Dado isto, o objetivo geral passa por assegurar uma melhoria significativa da eficiência energética, sobretudo através da execução dos planos PNAEE e PNAER. Estes dois métodos de planeamento energético têm como objetivo que Portugal cumpra todos os compromissos assumidos, mas de forma sustentável e economicamente racional. Destacam-se, portanto, os objetivos de [10]:

- Reduzir significativamente as emissões de gases com efeito de estufa, de forma sustentável;
- Reforçar a diversificação das fontes de energia primária, contribuindo para aumentar estruturalmente a segurança de abastecimento do país;
- Aumentar a eficiência energética da economia, em particular no sector Estado, contribuindo para a redução da despesa pública e o uso eficiente dos recursos;
- Contribuir para o aumento da competitividade da economia, através da redução dos consumos e custos associados ao funcionamento das empresas e à gestão da economia doméstica, libertando recursos para dinamizar a procura interna e novos investimentos.

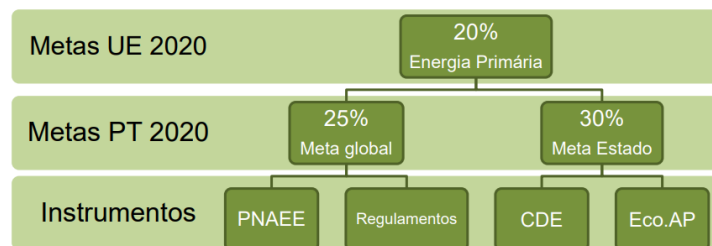


Figura 21 - Metas e instrumentos para 2020 [10]

Com a crescente necessidade de cumprimento de todas estas metas, desenvolveram-se várias medidas de planeamento energético que se encontram em vigor no quadro nacional, das quais se destacam:

### **RNBC – Roteiro Nacional de Baixo Carbono**

Este estudo visa apontar orientações estratégicas para os vários setores de atividade, servindo de elemento de informação e apoio à elaboração dos futuros planos nacionais de redução de emissões, em particular do Plano Nacional para as Alterações Climáticas 2020 (PNAC 2020) e dos Planos Setoriais de Baixo Carbono (PSBC8). A visão subjacente ao RNBC está alinhada com o objetivo da UE de reduzir as emissões de GEE em 80%-95% em 2050, face aos níveis de 1990, no sentido de concretizar uma transição para uma economia competitiva e de baixo carbono [20].

### **PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética**

Tendo sido esta medida revista, para o período 2013-2016, o principal objetivo do PNAEE é projetar novas ações e metas para 2016, integrando as preocupações relativas à redução de energia primária para o horizonte de 2020, constantes da Diretiva n.º 2012/27/UE, do Parlamento Europeu, relativa à eficiência energética. Como tal, relativamente à eficiência energética, o PNAEE 2016 prevê uma poupança induzida de 8,2%, próxima da meta indicativa definida pela União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016 [10].

Os contributos na redução dos consumos energéticos estão distribuídos pelos vários setores de atividade, abrangendo as áreas dos Transportes, Residencial e Serviços, da Indústria, do Estado e dos Comportamentos e Agricultura. Estas áreas agregam um total de 10 programas, com um leque de medidas de melhoria da eficiência energética, orientadas para a procura energética, visando atingir os objetivos pretendidos [21].

### **PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis**

Este plano foi desenvolvido em função do cenário de excesso de oferta resultante de uma diminuição da procura, de forma a mitigar e controlar os custos associados, tendo por objetivo rever o peso relativo de cada uma das FER no mix energético nacional e respetivas metas de incorporação a atingir em 2020, de acordo com o seu custo de produção e consequente potencial de funcionamento em regime de mercado [10].

O plano prevê uma redução de 18% na capacidade instalada em tecnologias baseadas em fontes renováveis (FER), face ao anterior plano, com a quota de eletricidade de base renovável no novo

PNAER a ser superior (60% vs. 55%), tal como a meta global a alcançar, que deverá situar-se em 34,5% (face à meta de 31%) e no caso dos transportes 11,3% [22].

Com isto, o PNAER 2020 estabelece trajetórias de introdução de FER em três grandes setores: Aquecimento e arrefecimento, Eletricidade e Transportes. O estabelecimento deste horizonte temporal de 2020 para efeitos de acompanhamento e monitorização do impacto estimado no consumo de energia primária permite perspetivar o cumprimento das novas metas assumidas pela UE, de redução de 20% dos consumos de energia primária até 2020, bem como o objetivo geral de redução no consumo de energia primária de 25% e o objetivo específico para a Administração Pública de redução de 30% [23].

### **ECO.AP – Programa de Eficiência Energética na Administração Pública**

O Programa de Eficiência Energética na Administração Pública "Eco.AP", tem como objetivo alcançar um nível de eficiência energética de 30% nos organismos e serviços da Administração Pública até 2020, sendo esta eficiência atingida sem aumento da despesa pública permitindo ao mesmo tempo o estímulo da economia no sector das empresas de serviços energéticos e ainda possibilitará ao Estado a redução da fatura energética nos serviços e organismos e a redução da emissão de GEE, contribuindo assim para a concretização dos objetivos estabelecidos no PNAEE e no PNAER [24].

Para atingir os objetivos, foi criado um procedimento específico de contratação pública que permite acordar o contrato de gestão de eficiência energética com as empresas de serviços de energia (ESE) que estejam devidamente registadas e qualificadas para o efeito. Para ajudar a implementar este processo foram criados os critérios de elegibilidade para as empresas, com o objetivo de balizar as empresas já registadas como ESE, definindo dois níveis de qualificação com requisitos diferenciados de natureza técnica e financeira. Adicionalmente, foi também desenvolvido um caderno de encargos tipo, que é o referencial para o lançamento de procedimentos tendentes à celebração de contratos de gestão de eficiência energética [24].

Com vista a alcançar os objetivos propostos pelo Eco.AP existe também um Barómetro de Eficiência Energética, com o objetivo de caracterizar, comparar e divulgar o desempenho energético das diferentes entidades da Administração Pública. O Barómetro de Eficiência Energética tem papel central na estratégia de promoção da eficiência energética neste setor, permitindo conhecer em detalhe a estrutura de consumos de energia e assim permitir apoiar a definição de políticas e medidas destinadas a promover o uso eficiente dos recursos energéticos no setor público [24].

### **PPEC – Plano de Promoção de Eficiência no Consumo de Energia Elétrica**

O Plano de Promoção Eficiência no Consumo de Energia Elétrica tem como objetivo a promoção de medidas que visam melhorar a eficiência no consumo de energia elétrica, através de ações empreendidas por promotores elegíveis, sendo destinadas aos consumidores dos diferentes segmentos de mercado – Indústria e Agricultura, Comércio e Serviços e Residencial. No âmbito do PPEC promovem-se medidas tangíveis e intangíveis. As medidas tangíveis consistem na instalação de equipamento com um nível de eficiência superior ao standard de mercado, conseguindo-se assim reduções de consumo mensuráveis. As medidas intangíveis consistem na disseminação de informação acerca de boas práticas no uso eficiente de energia elétrica, visando promover mudanças de comportamentos [25], [18].

## 2.5. Eficiência Energética em Edifícios

Na Europa, o setor dos edifícios (Residencial e Serviços) representa cerca de 40% dos consumos totais de energia. Atualmente, cerca de 75% dos edifícios existentes, públicos e privados, têm um desempenho energético abaixo dos requisitos da EPBD, pelo que o potencial de poupança de energia é muito elevado, sendo que, dependendo dos casos, cerca de 50% do consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética [6], [26].

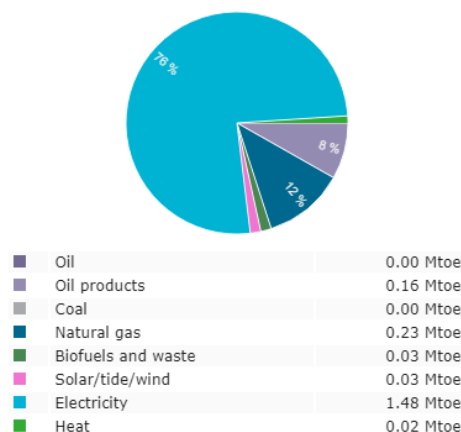


Figura 22 - Consumo de energia nos edifícios por setor de atividade [26]

A energia elétrica é o recurso principal e mais utilizado num edifício, podendo representar 1,48MTep, seguido do gás natural com 0,23MTep e os combustíveis líquidos com 0,16MTep. Associado aos edifícios, estão as maiores fontes de procura de energia na Europa: o aquecimento e a refrigeração dos mesmos. Em Portugal não temos temperaturas extremas, pelo que face às menores necessidades de arrefecimento e sobretudo de aquecimento dos edifícios, os consumos neste setor correspondem a aproximadamente 30% da energia utilizada para consumo final [6].

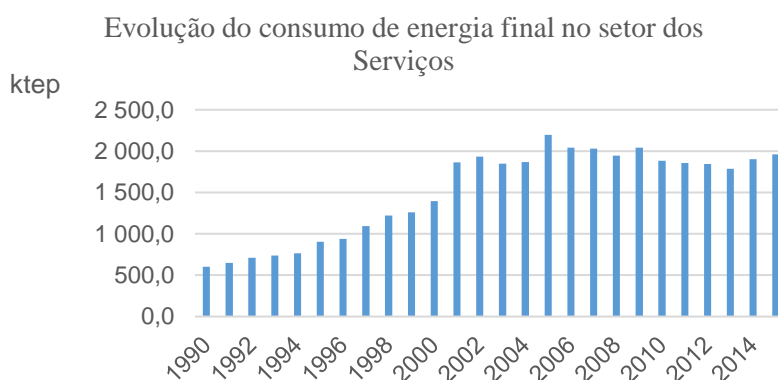


Figura 23 - Evolução do consumo de Energia Final no setor dos Serviços [9]

No momento da conceção de um edifício, é extremamente importante a adoção de um conjunto de medidas, que poderão influenciar consideravelmente o seu desempenho energético em termos de conforto interior e consequentemente dos seus ocupantes. Estando as condições de conforto diretamente ligadas ao consumo energético, se o edifício estiver desenquadrado ou pouco adaptado ao clima local implicará um maior consumo de energia para atingir as condições de conforto térmico

pretendido. No entanto, se foram utilizadas as estratégias e medidas corretas, o edifício fica mais próximo de atingir as condições de conforto térmico e assim de diminuir os respectivos consumos energéticos para atingir esse fim. Estas estratégias representam um conjunto de medidas e regras, destinadas a influenciar o comportamento do edifício, os seus sistemas e componentes construtivos, que deverão ser selecionadas tendo por base a função do edifício, o seu modo de ocupação e operação e as especificidades climáticas do local [27].

### **2.5.1. Diretivas Europeias no âmbito da eficiência energética em edifícios**

A reabilitação energética de edifícios, por via da implementação de medidas de eficiência energética, constitui um instrumento importante no combate aos desafios relacionados com a dependência da importação de energia, da escassez de recursos energéticos, na mitigação das alterações climáticas e a crise económica. Posto isto, a União Europeia tem vindo a publicar várias diretivas e metas a implementar pelos países constituintes, nomeadamente na área da eficiência energética em edifícios:

- Diretiva 2002/91/CE, com o objetivo de potenciar a melhoria no desempenho energético dos edifícios, tendo em consideração as condições climáticas externas e as condições locais e as exigências em relação ao clima interior e a rentabilidade económica [28].
- Diretiva 2006/32/CE, relacionada com a eficiência na utilização final de energia e nos serviços energéticos. Esta diretiva veio introduzir objetivos e metas mais ambiciosas em termos de eficiência energética tendo por objetivo que cada Estado-Membro deve adotar e procurar atingir um objetivo global nacional indicativo de economias de energia de 9% para o nono ano da aplicação da diretiva, a alcançar através de serviços energéticos e de outras medidas de melhoria da eficiência energética [29].
- Diretiva 2010/31/CE, relativa à eficiência energética dos edifícios. Esta diretiva permite alcançar e reforçar níveis de eficiência mais exigentes e reajustar algumas medidas constantes na diretiva inicial publicada em 2002. Estabelece a obrigatoriedade de que os edifícios novos, até 30 de dezembro de 2020, sejam edifícios com necessidade quase nula de energia e que no caso de edifícios públicos novos e detidos pela administração pública a partir de 31 de dezembro de 2018, seja edifícios com necessidades quase nulas. Os edifícios com baixas necessidade energéticas são denominados de “Nearly-Zero Energy Buildings” [22].
- Diretiva 2012/27/UE, relativa à eficiência energética dos edifícios. Esta diretiva revoga a diretiva 2006/32/CE, e estabelece um quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética. Esta diretiva tem como objetivo ultrapassar as deficiências do mercado que impedem a eficiência na utilização da energia e atingir um mínimo de 20% de eficiência energética até 2020 [22].

### **2.5.2. Enquadramento Legislativo em Portugal**

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) descrito no Decreto-Lei n.º 78/2006 é um dos três pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal, e que se pretende que venha a proporcionar economias significativas de energia para o país em geral, e para os utilizadores dos edifícios em particular [30].

O SCE define regras e métodos para verificação da aplicação efetiva destes regulamentos às novas edificações, bem como, numa fase posterior, aos imóveis já construídos, constituindo-se hoje como a ferramenta principal para avaliar o desempenho energético dos edifícios. Para além de comprovar a correta aplicação da regulamentação, permite aos futuros utilizadores ter conhecimento sobre os potenciais consumos de energia no caso de edifícios novos e dos consumos reais ou nominais no caso de grandes intervenções. Relativamente aos edifícios existentes, destina-se a facultar informação sobre as medidas de melhoria e a sua viabilidade económica para reduzir o consumo e a fatura energética, aumentando a eficiência energética do edifício. Resumidamente, este certificado informa de um modo sucinto, a classe de desempenho energético (de A+ a F), a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> do edifício e no caso dos edifícios existentes deverá dar a indicação se estará sujeito a um Plano de Racionalização Energética (PRE) e/ou a um Plano de Ações Corretivas da Qualidade do Ar Interior [30], [31].

O regulamento RCCTE veio estabelecer requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e para pequenos edifícios de serviços, nomeadamente ao nível das características envolventes (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), tentando limitar as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos [30].

Já no regulamento RSECE são também definidos um conjunto de requisitos de qualidade térmica, aplicáveis a grandes edifícios de serviços e de habitação de maior dimensão dotados de sistemas de climatização. Este regulamento, para além de englobar aspetos do regulamento RCCTE, abrange também temáticas relacionadas com a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios e ainda qualidade do ar interior dos mesmos, impondo a realização de auditorias periódicas em alguns casos [30].

#### **SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios**

O Sistema Nacional de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), tem como base, o objetivo de apresentar um conjunto de informação a diversos intervenientes do sistema, nomeadamente [32]:

- Informar do desempenho energético dos edifícios, classificando-os de modo a que o consumidor final os possa comparar e escolher em função da classe energética;
- Apresentar um quadro de medidas de melhoria, identificadas pelo Perito Qualificado, que conduzam à melhoria da eficiência energética, do conforto e da eventual redução dos consumos de energia para diversos fins;

- Identificar as componentes dos edifícios e os seus sistemas técnicos, permitindo assim cadastrar, num único documento, informação relacionada com o desempenho energético e que por vezes não está alcance imediato do utilizador do edifício.



Figura 24 - Classes da Certificação Energética em Edifícios [18]

A classificação do edifício segue uma escala pré-definida de 8 classes (A+, A, B, B-, C, D, E e F), em que a classe A+ corresponde a um edifício com melhor desempenho energético, e a classe F corresponde a um edifício de pior desempenho energético. Embora o número de classes na escala seja o mesmo, os edifícios de habitação e de serviços têm indicadores e formas de classificação diferentes. Nos edifícios novos (com pedido de licença de construção após entrada em vigor do SCE), as classes energéticas variam apenas entre as classes A+ e B-, sendo esta última o limiar inferior a que estes edifícios estão sujeitos. Os edifícios sujeitos a grandes intervenções têm um limiar inferior C. Já os edifícios existentes poderão apresentar qualquer classe [32].

### **RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios**

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) veio estabelecer requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos da habitação para climatização e produção de águas quentes, a fim de incentivar a utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária. A nova legislação determina também a obrigatoriedade da instalação de coletores solares e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável na determinação do desempenho energético do edifício [33].

De acordo com o presente regulamento RCCTE os edifícios abrangidos são [33]:

- Edifícios de habitação;
- Edifícios de serviços com área útil inferior ou igual a 1000 m<sup>2</sup> e sem sistemas mecânicos de climatização ou com sistemas de climatização de potência inferior ou igual a 25 kW;
- Grandes intervenções (superiores a 25% do valor do edifício) de remodelação, de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias das duas tipologias de edifícios referidas anteriormente.

### **RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios**

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio igualmente definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, os quais, para além dos aspetos da qualidade da envolvente e da limitação

dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando igualmente à realização de auditorias periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade do ar interior surge também com requisitos que abrangem as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes [33]:

De acordo com o RSECE, este regulamento aplica-se nas seguintes situações [33]:

- Grandes edifícios ou frações autónomas de serviços, existentes e novos, com área útil superior a 1 000 m<sup>2</sup>, ou no caso de grandes superfícies comerciais ou piscinas cobertas com áreas superiores a 500 m<sup>2</sup>;
- Novos pequenos edifícios ou frações autónomas de serviços com sistemas de climatização de potência instalada superior a 25 kW (PEScC);
- Novos edifícios de habitação ou cada uma das suas frações autónomas com sistemas de climatização com potência instalada ou a instalar superior a 25 kW (HcC);
- Grandes intervenções de reabilitação relacionadas com a envolvente, com as instalações mecânicas de climatização ou os demais sistemas energéticos dos edifícios de serviços.

Para os edifícios que se encontrem nestas condições, a avaliação energética tem como principal objetivo quantificar os consumos globais anuais, através da determinação de um indicador de eficiência energética (IEE). Este valor, expresso em unidades de energia primária por metros quadrados por ano, caracteriza energeticamente um edifício ou fração, tendo em conta todos os consumos relevantes de energia, tais como o aquecimento, iluminação, águas quentes, entre outros. É com base neste valor que se determina a classe energética do edifício em análise, comparando-o com um valor de referência definido em função da tipologia do imóvel. No caso do índice IEE determinado ser superior ao valor máximo definido legalmente, o proprietário fica obrigado a apresentar um plano de racionalização energética (PRE). Este plano de racionalização é composto por um conjunto de medidas que visam reduzir o consumo energético para valores que respeitem os limites estipulados legalmente [34].

### **2.5.3. Medidas para a melhoria da Eficiência Energética em Edifícios**

A Eficiência Energética é pensada numa perspetiva em que, para um mesmo nível de conforto, teremos um menor consumo de energia, aliada, contudo, a uma utilização mais racional da mesma. Por exemplo, a simples ação de apagar a luz quando saímos de um local, deverá ser complementado com tecnologias e/ou processos que traduzam uma redução de consumos pela via da eficiência e racionalização nesta utilização.

Toda a energia passa por um processo de transformação após o qual se transforma em calor, frio, luz, entre outros. Durante essa transformação uma parte dessa energia é desperdiçada e a outra, que chega ao consumidor, nem sempre é devidamente aproveitada. A eficiência energética pressupõe a implementação de medidas para combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação e de utilização [35]:



- **Transformação** - A energia existe na natureza em diferentes formas e, para ser utilizada, necessita de ser transformada. Os processos de transformação, transporte e uso final de energia causam impactos negativos no meio ambiente. Parte destas perdas são inevitáveis e devem-se a questões físicas, contudo, outra parte é perdida por mau aproveitamento e falta de otimização dos sistemas.
- **Utilização** - O desperdício de energia não ocorre apenas na fase de transformação, ocorrendo também durante o consumo. Nesta fase, a eficiência energética é frequentemente associada ao termo "Utilização Racional da Energia" (URE), que pressupõe a adoção de medidas que permitem uma melhor utilização da energia, tanto no sector doméstico, como nos sectores de serviços e indústria.

Através da escolha, aquisição e utilização adequada dos equipamentos, é possível alcançar poupanças significativas de energia, mantendo o conforto e aumentando a produtividade dos sistemas e atividades dependentes de energia, com vantagens do ponto de vista económico e ambiental.

De uma forma genérica o consumo de energia dos edifícios pode ser reduzido da seguinte forma [36]:

- Melhoria das características construtivas do edifício, reduzindo as necessidades energéticas em aquecimento e arrefecimento;
- Utilização de equipamentos energeticamente mais eficientes em todas as fases de produção, transformação e utilização final de energia;
- Medidas de gestão da procura, no sentido de reduzir os consumos energéticos na utilização dos equipamentos.

Os sistemas de aquecimento, arrefecimento e iluminação são os principais responsáveis pelo consumo de energia em edifícios de serviços, consumo esse associado às exigências de conforto térmico e visual em espaços interiores. A envolvente também tem um forte impacto no consumo de energia desses sistemas uma vez que atua como regulador das cargas térmicas, bem como da iluminação natural [36].

### **2.5.3.1. Equipamentos**

O consumo de energia associado à utilização de equipamentos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, representando uma parcela significativa do consumo energético dos edifícios. Por outro lado, o potencial de economias de energia existente é bastante elevado. O aproveitamento deste potencial pode ser atingido em alguns equipamentos informáticos através da seleção e aquisição de equipamentos energeticamente eficientes, pela introdução de sistemas adequados de gestão de energia e pela adoção de boas-práticas na utilização dos equipamentos [36], [37].

A substituição de computadores de secretária por computadores portáteis (pode conduzir a economias de energia até 80%), a substituição de monitores CRT convencionais por monitores LCD

(conduz a economias de energia de cerca de 50%), a seleção adequada dos equipamentos a adquirir tendo presente os critérios de eficiência energética (Energy-Star, dimensionamento correto, inibidores de consumo energético no modo desligado, etc.) e a redução dos consumos em modo *standby*, constituem algumas medidas que conduzem a poupanças energéticas relativamente aos equipamentos existentes [36].

### **2.5.3.2. Iluminação**

A iluminação constitui uma das utilizações finais nos edifícios em que a introdução de soluções energeticamente eficientes mais compensa, em termos de economia de energia e conforto. Na União Europeia o consumo de energia elétrica em iluminação no Sector Residencial representa mais de 12% do consumo total deste sector, sendo que cerca de 20% da fatura de eletricidade de uma habitação é devida à iluminação, podendo chegar até 60 % no sector dos serviços. No nosso país, a situação é análoga. O sector Residencial representa em média cerca de 12% do consumo de energia elétrica e no sector dos serviços aumenta para 20% [36], [38].

A nova legislação sobre a eficiência energética dos edifícios, que transpôs a Diretiva comunitária n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, estabeleceu novos regulamentos para os sistemas energéticos e de climatização nos edifícios (RSECE) e para as características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), bem como a criação do sistema de certificação energética e qualidade do ar interior dos edifícios (SCE), tal como descrito anteriormente. Estes, vieram posteriormente a ser complementados com a publicação do Decreto-Lei nº 108/2007 e das Portarias nº 54/2008 e nº63/2008 que estabelecem e regulamentam a aplicação de uma taxa nas lâmpadas de baixa eficiência energética [38].

A eficiência energética do sistema de iluminação, devendo incluir-se na eficiência energética global do edifício, levou a Comissão da UE a solicitar ao Comité Europeu de Normalização (CEN) ao desenvolvimento de uma metodologia de eficiência energética para a iluminação. Disto, resultou a norma EN 12464-1 sobre a iluminação interior estabelecendo os níveis de iluminância recomendáveis nos locais de trabalho, sendo que os equipamentos e tecnologias atualmente instalados seguem essa norma [38].

O conceito de eficiência energética na iluminação deixa de fazer sentido se o sistema de iluminação não for capaz de responder às condições necessárias e adequadas à execução das diversas tarefas por parte dos utilizadores, isto é, o nível de conforto e a satisfação dos utilizadores nunca deve ser posta em causa, em prol da instalação de tecnologias energeticamente mais eficientes [38].

A minimização da potência instalada, através da instalação de componentes energeticamente eficientes como lâmpadas de alta eficiência luminosa, balastros eletrónicos com um elevado fator de potência, da integração de um sistema de controlo de iluminação, em simultâneo com uma redução do tempo de utilização, são variáveis essenciais para que o sistema de iluminação seja energeticamente eficiente. A redução do tempo de utilização é possível, através do aproveitamento

da iluminação natural em simultâneo com a utilização do sistema de controlo de iluminação artificial e também com recurso a sensores de presença para áreas com ocupação intermitente. Ao nível da iluminação interior uma das principais recomendações é a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas, tubulares, ou até lâmpadas LED, sobretudo, em locais com períodos diários de utilização de pelo menos 2 horas. Esta medida pode atingir economias de energia na ordem dos 75%. A substituição de balastros ineficientes por balastros eletrónicos na iluminação fluorescente permite obter economias de energia da ordem dos 20%. Na remodelação da iluminação fluorescente recomenda-se também e sempre que possível a utilização de lâmpadas eficientes T5 em detrimento das lâmpadas T8 [36], [39].

Outras medidas que proporcionam poupanças de energia consideráveis e maiores níveis de conforto em edifícios no campo da iluminação são [36]:

- A utilização de luminárias equipadas com superfícies refletoras que permitem aumentar o rendimento das lâmpadas;
- Aplicação de equipamentos de regulação do fluxo luminoso, principalmente úteis em locais onde as condições de iluminação natural sejam favoráveis;
- Adoção de cores claras sobretudo nos tectos e nas paredes interiores;
- Efetuar com regularidade a limpeza das lâmpadas, refletores e difusores;
- Desligar a iluminação nos períodos de paragem, incutindo esta prática nos utilizadores, ou através de sistemas automáticos, como sensores crepusculares, de presença humana ou relógios programáveis;
- Aproveitar ao máximo a iluminação natural, preferindo edifícios com este tipo de soluções (vão envidraçados, janelas com boa iluminação, claraboias), mantendo as entradas de luz devidamente desobstruídas;
- Utilizar níveis de iluminação adequadas às atividades desenvolvidas nos espaços a iluminar. Níveis demasiado altos de iluminação originam desperdícios energéticos e desconforto visual e os níveis demasiado baixos proporcionam cansaço visual e uma maior probabilidade de erros e acidentes.
- Preferir, sempre que possível, lâmpadas do tipo fluorescentes e LED, pois são mais eficientes e tem maior durabilidade.
- Na iluminação de grandes espaços, onde a restituição da cor não é importante, deve-se dar preferência às lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, uma vez que são mais eficientes que as lâmpadas de vapor de mercúrio.
- Aplicação de balastros eletrónicos podendo representar reduções de consumos até 30%.
- Utilização de armaduras mais eficientes, pois permitem também reduzir a potência instalada através de uma melhoria no fluxo luminoso.
- O correto seccionamento dos circuitos de iluminação facilita a boa gestão e aplicação dos conselhos de poupança energética.

Consideremos o seguinte exemplo [37]:

A tradicional lâmpada de 60 W (que custa cerca de 1,2 €) proporciona a mesma luz que uma lâmpada fluorescente compacta de 11 W (cerca de 7 €).

Tabela 1 - Exemplo da poupança obtida com a substituição de lâmpadas

Tipologia da lâmpada	Incandescente de 60W	Economizadora de 11W
Vida útil	1000h	8000h
Preço de aquisição (€)	1,20 €	
Preço kWh (€)	0,14 €	0,14 €
Consumo de eletricidade (kWh)	(8000h X 60W) 480kWh	(8000h X 11W) 88kWh
Custo das lâmpadas (€)	(1,20€X8) 9,60€	(7,0€X1) 7,00€
Custo da eletricidade (€)	(480kWh X 0,14€/kWh) 67,20€	(88kWh X 0,14€/kWh) 12,32€
Custo total (€)	76,80 €	
Poupança de 57,48€	Poupança de 57,48€	

No tempo de vida útil de uma lâmpada de baixo consumo, a poupança será quase de 58 €.

### 2.5.3.3. Sistemas de Aquecimento, Ventilação e de Ar Condicionado

Normalmente, 30 a 40% do consumo elétrico dos edifícios é devido aos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), representado por isso um grande peso nos custos energéticos. O nível de consumo dos sistemas de AVAC depende essencialmente de quatro fatores: características do edifício (orientação e isolamento), nível das condições do ar interior necessárias, calor gerado internamente (pessoas, iluminação e equipamentos) e, por último, desenho, eficiência, operação e manutenção do sistema de AVAC [40].

O tratamento do ar ou a climatização tem como função principal a criação e a manutenção de um nível adequado de conforto para os ocupantes de um ambiente fechado, ou a garantia da manutenção de um conjunto de condições ambientais para o desenvolvimento de um processo ou atividade ambiental. Tratar o ar implica controlar uma série de variáveis físicas no interior de um local, como a temperatura, a humidade e qualidade do ar, fatores essenciais no controlo do conforto térmico. Os três eixos principais que regem a evolução da climatização são: a qualidade do ar interior (Q.A.I.), o consumo energético e o impacto ambiental. Neste sentido, a otimização de sistemas de AVAC nos edifícios existentes deverá garantir a satisfação das condições do ar interior necessárias ao menor custo, podendo exigir a substituição dos equipamentos existentes por outros mais eficientes, a otimização da utilização do sistema através da regulação do seu funcionamento e a manutenção periódica do sistema [37], [40].

No sentido de melhorar o desempenho energético dos sistemas de climatização, apontam-se algumas soluções [41]:

- Aplicação ou reforço do isolamento térmico nas condutas e tubagens de aquecimento e arrefecimento, de forma a minimizar as perdas de energia térmica, verificando periodicamente o estado do mesmo;
- Regulação dos parâmetros de combustão das caldeiras, de modo a que o valor do excesso de ar seja o mais apropriado;
- Manutenção periódica das caldeiras, que deverá contemplar os seguintes aspetos: verificação dos equipamentos de medida e controlo, do sistema de distribuição, de combustão, da qualidade da água, da capacidade de extração da chaminé, a operação de limpeza ao sistema e a verificação do estado de isolamento das tubagens e tanques de armazenamento;
- Substituição de caldeiras obsoletas por novas caldeiras corretamente dimensionadas para as necessidades do edifício com rendimento elevado e modelação automática da chama, minimizando desta forma os arranques e paragens da caldeira;
- Recuperação do calor na chaminé das caldeiras para pré-aquecimento das águas quentes sanitárias.
- Se o sistema não estiver munido de recirculação de ar, analisar a possibilidade de alterar o sistema de ventilação para incorporar esta opção, uma vez que reduz os custos de aquecimento do ar;
- Assegurar que os sensores de temperatura e termóstatos estão instalados em locais longe de janelas, fontes de calor ou passagens de ar. Caso seja um sensor de temperatura exterior, assegurar que se encontra numa parede orientada a Norte e fora da luz solar direta ou de qualquer outra fonte de calor.
- Escolher equipamentos de alto desempenho com classificação energética elevada. Nos sistemas de ar condicionado, optar por equipamentos com elevado COP (*coefficient of performance*) e EER (*Energy Efficiency Ratio*).

Os sistemas de controlo também deverão ser alvo de manutenção e inspeção, indicando-se algumas medidas que deverão ser colocadas em prática [36], [41]:

- Instalação de sistemas de controlo adequados, como termóstatos e sensores de presença, em cada zona climatizada a fim de controlar automaticamente a temperatura desse local e evitar o funcionamento do sistema de climatização durante os períodos sem ocupação.
- Regulação das caldeiras para a temperatura adequada, evitando o aquecimento excessivo;
- Estabelecimento de “set-points” adequados à climatização;
- As unidades finais de climatização (por exemplo os radiadores e ventilo convetores) devem dispor de regulação adequada como válvulas termostáticas.

As ações comportamentais relativas ao uso dos equipamentos de climatização dos ocupantes também influenciam bastante o perfil de consumo de energia no edifício, pois ações simples como o evitar ter o aquecimento/arrefecimento ligado com as janelas abertas ou limitar a climatização aos espaços efetivamente ocupados permite economizar energia. As ações de formação internas sobre boas-práticas na utilização da energia, também são extremamente importantes, pois são uma forma de sensibilizar os utilizadores dos espaços para poder conduzir a uma maior poupança energética [36].

#### **2.5.3.4. Envoltente do Edifício**

A envoltente do edifício é outro grande aspeto de maior importância, uma vez que a sua renovação e reabilitação podem desencadear potenciais de poupança de energia que poderão atingir os 30% [36].

A melhoria da eficiência energética neste setor pode ser melhorada através da implementação de várias medidas, das quais se destacam a escolha adequada de caixilharias e envidraçados, a instalação de sombreamentos adequados, a melhoria do isolamento térmico de paredes, coberturas e pavimentos, a redução da infiltração de ar através da envoltente (aperfeiçoamento das caixilharias das portas, janelas, fissuras nas paredes da envoltente), o controlo das aberturas (adequar a ventilação e a redução das perdas para aquecimento/arrefecimento) e a utilização de vegetação (sombreamento das superfícies no verão e redução da temperatura do ar em redor do edifício) [36].

O máximo de economias de energia é obtido a partir de uma combinação ótima das diferentes medidas. Muitas das soluções de isolamento térmico da envoltente deverão ser equacionadas quando o edifício for alvo de uma intervenção de reabilitação geral, justificando em termos económicos e funcionais algumas das soluções propostas. As soluções existentes para os diferentes elementos da envoltente devem ser sempre analisadas caso a caso, de modo que os benefícios ao nível da poupança de energia, do conforto térmico e da qualidade do ambiente interior, sejam de melhor forma integradas com as principais características construtivas e arquitetónicas de cada edifício [42].

#### **2.5.3.5. Gestão Técnica Centralizada**

Com vista a alcançar um patamar de fiabilidade, rentabilidade e eficiência nos edifícios como via prioritária para a poupança energética, surge a Gestão Técnica Centralizada (GTC), podendo acrescentar um elevado potencial de poupança, que vai para além de um bom projeto, instalações, das soluções técnicas na área da climatização e do recurso à integração das energias renováveis. Apesar de estas também serem determinantes para a eficiência energética do edifício, o potencial de poupança vai para além destas áreas, pelo que se deve dar a devida importância a um sistema de Gestão Técnica Centralizada. A GTC tem de ser encarada nos dias de hoje como uma estratégia de grande eficiência energética de um edifício. Sabendo que estes representam uma grande percentagem do consumo geral de energia, é importante saber atuar, investir e criar também mudanças comportamentais [43].

A eficiência energética do edifício não só está aliada à eficiência dos equipamentos como também à gestão dos consumos de energia. Desta forma, o Sistema de Gestão Técnica Centralizada assegura uma gestão otimizada e contínua, possibilitando monitorizar, controlar e gerir, de forma integrada, os diversos equipamentos nas várias instalações existentes no edifício, tais como AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), iluminação, contadores de energia, controlo de acessos e segurança. De acordo com as necessidades requeridas nas diversas instalações do edifício, o sistema permitirá automatizar o funcionamento dos equipamentos. O sistema de GTC inclui os equipamentos (hardware) e um software, que funciona segundo o princípio da integração de subsistemas, ou seja,

a partir do software instalado num computador, é possível controlar as diferentes instalações do edifício, mesmo sendo de diferentes fabricantes, bastando apenas que comuniquem segundo os mesmos protocolos. Caso os protocolos sejam diferentes, será necessário um equipamento intermediário, um *gateway*, que permita a troca de informações. O sistema de GTC deve apresentar uma natureza modular e flexível, concebido em protocolo aberto, de maneira a possibilitar uma expansão futura ou alterações [43], [44].

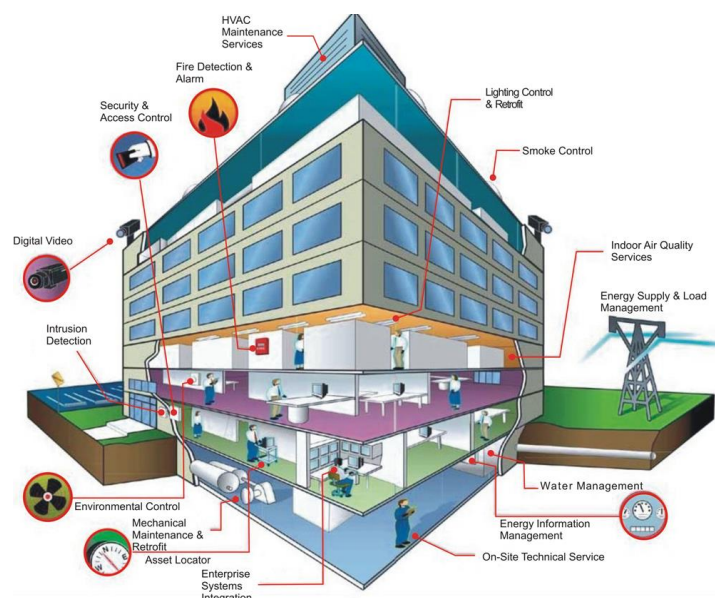


Figura 25 - Exemplo de um Sistema de Gestão Técnica Centralizada [42]

De modo a obter os ganhos de energia, é possível recorrer a várias funções, de modo a otimizar os vários sistemas, como por exemplo o ajuste do set-point de temperatura do sistema de climatização, a programação horária do *chiller* e da UTA (unidade de tratamento de ar) consoante a carga térmica do edifício e o controlo do sistema de iluminação. Os resultados são uma redução significativa de consumos, tendo impacto na fatura energética, menores emissões de CO<sub>2</sub> e uma melhoria em termos de conforto interior. Deste modo, os SGTC devem ser considerados como um elemento essencial na estratégia de eficiência energética de um edifício [43], [44].

#### 2.5.3.6. Planos comportamentais

Um grande obstáculo na redução dos consumos de energia nos edifícios é a alteração dos comportamentos dos seus utilizadores. Através de um plano comportamental, é possível identificar formas de ação e criar mecanismos de sensibilização, incentivos, penalizações e responsabilização relativamente a alguns comportamentos menos corretos, de modo a atingir os melhores níveis de racionalização energética. Para tal, é essencial ter sistemas de medição desagregados, usando os equipamentos a instalar no âmbito do sistema de gestão técnica centralizada. O consumo de energia dos equipamentos está também significativamente condicionado às diferentes formas como os

utilizadores lidam com o edifício, o que consequentemente se traduz em comportamentos muito distintos. As ações de sensibilização devem ser pensadas para cada classe de utilizadores. [45]

## **2.5.4. Gestão de Energia**

### **2.5.4.1. Auditoria energética a edifícios de serviços**

A auditoria energética num edifício representa uma inspeção detalhada das condições de utilização de energia numa instalação, analisando a sua situação energética e posterior estudo das várias medidas corretivas, alterações e soluções que possam desenvolver uma redução nos gastos energéticos, com a redução dos custos de operação e manutenção, e simultaneamente uma melhoria no nível de conforto dos ocupantes. Com isto, a principal razão para a realização de uma auditoria energética, prende-se com a necessidade de reduzir os consumos energéticos, propondo soluções eficientes e racionais a fim de conseguir uma utilização mais eficiente dos recursos, com vista a reduzir a fatura energética [46].

Assim, estes estudos devem, destacar as formas de energia utilizadas, a análise detalhada da fatura energética, recomendações de soluções energéticas eficientes e de redução de custos com a eletricidade e outros combustíveis, a determinação do custo estimado das medidas de eficiência energética recomendadas, a previsão das reduções de emissões de CO<sub>2</sub> conseguidas pela implementação das medidas, a previsão da poupança anual de energia e dos tempos de recuperação de investimento e também a recomendação de futuras análises a realizar. A metodologia a seguir numa auditoria energética pode passar por quatro etapas: o planeamento da auditoria, a intervenção no local da instalação a auditar (trabalho de campo), o tratamento da informação e dos dados recolhidos e por fim, a elaboração do relatório da auditoria energética [46], [47].

Na primeira fase, de planeamento, inicia-se a recolha e o tratamento da informação, nomeadamente ao nível das atividades existentes no edifício, histórico das faturas de energia, análise da localização do mesmo, infraestruturas existentes, clima, legislação aplicável, entre outros tópicos importantes, bem como o levantamento das tecnologias energeticamente mais eficientes disponíveis no mercado. Torna-se também importante recolher esta informação junto dos responsáveis que tomam decisões relativamente à gestão de energia, e a operação e manutenção dos equipamentos. Nesta fase de planeamento, deve ser também feita uma análise aos processos energéticos implementados no edifício a auditar, fluxogramas de processos e os fluxogramas energéticos, com vista a detetar potenciais economias de energia. Finalmente, deve-se efetuar um levantamento das tecnologias disponíveis no mercado, a fim de se conseguir estabelecer comparações entre estas e as que estão instaladas no edifício a auditar [46], [48].

Já na segunda etapa, o trabalho de campo, deve ser feito um exame detalhado às condições de utilização de energia, verificando onde e como é aplicada, identificando as fontes e os consumos energéticos e as principais áreas que mais energia consomem, a capacidade instalada e as horas de funcionamento. A par disto, torna-se necessário recolher o máximo de informação possível relativamente a equipamentos, sistema de iluminação, climatização, ocupação e perfis de utilização,



efetuando também medições, nomeadamente de temperatura e iluminância. É nesta fase que também deverá ser instalado um analisador de redes trifásicas, para monitorizar a rede [46], [48].

O balanço energético da instalação permitirá obter uma desagregação do consumo de energia para os vários sectores ou utilizações finais, relacionando as formas de energia utilizadas no edifício com as diferentes utilizações. Assim, será possível discriminar o consumo de energia para as várias utilizações finais, caracterizando deste modo o consumo energético do edifício. Após a recolha de todos os dados relevantes para a auditoria, segue-se a fase de análise dos mesmos, terceira fase, onde deve ser possível desagregar os consumos medidos para cada tipo de energia consumida, por zona de utilização e identificar quais os equipamentos que são principais consumidores de energia. Toda esta análise deverá permitir [46], [48]:

- caracterizar os equipamentos produtores e consumidores de energia, quanto ao seu consumo e à sua eficiência energética;
- determinar os consumos de energia final em cada um dos sectores ou áreas;
- determinar os diagramas de carga da instalação consumidora;
- elaborar balanços energéticos (balanços térmicos, balanços de massa e de energia) dos equipamentos (ou de processos) de maior importância energética;
- determinar os consumos específicos globais;
- propor soluções técnicas, ou de gestão, conducentes à redução dos consumos de energia;
- propor (se inexistente) a instalação de aparelhos de medida, de grandezas energéticas, em pontos estratégicos que permitirão, ao gestor de energia fazer uma monitorização adequada à instalação consumidora.

Por fim, segue-se a fase da elaboração do relatório da auditoria, onde são calculados todos os indicadores energéticos relevantes e identificados todos os processos, equipamentos e comportamentos que possam ser intervencionados de uma forma economicamente viável analisando também o retorno do investimento da intervenção para determinar a viabilidade das alterações.

Resumidamente, uma auditoria energética permite:

- Quantificar os consumos e os custos por forma de energia;
- Determinar os consumos de energia pelas principais utilizações finais, realizando o respetivo balanço energético;
- Identificar situações de desperdício de energia;
- Verificar a existência e o cumprimento do Plano de Manutenção;
- Propor a implementação de sistemas organizados de gestão de energia e de controlo e monitorização das instalações ou equipamentos;
- Propor medidas corretivas e analisar técnica e economicamente as soluções encontradas.

## 2.6. Sistemas de Iluminação

### 2.6.1. Grandezas de quantificação de luz

Para garantir uma boa qualidade de iluminação em termos de percepção visual, é importante ter em consideração alguns fatores como [49]:

**Fluxo luminoso** - Entende-se como toda a radiação emitida por uma fonte de luz perceptível pelo olho humano, ou seja, pode-se definir pela quantidade total de luz emitida por uma fonte em cada segundo. Unidade de medida: lúmen (lm)

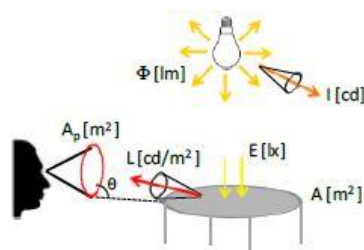


Figura 26 - Grandezas luminotécnicas [47]

**Intensidade luminosa** – Fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz numa determinada direção. Unidade de medida: candela (cd)

**Iluminância e luminância** – A iluminância ou nível de iluminação indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide numa superfície a uma certa distância. Não sendo uniforme, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da superfície. Considera-se então a iluminância média,  $E_m$ . Este valor varia dependendo do local e da tarefa a executar, podendo ser medida com o auxílio de um luxímetro. Unidade de medida: lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ )

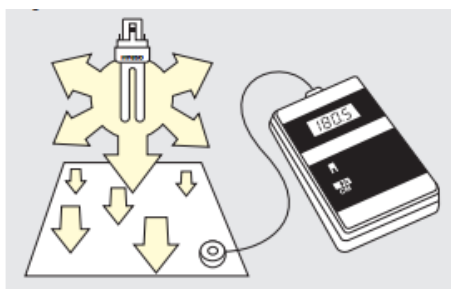


Figura 28 - Exemplo de medição da iluminância

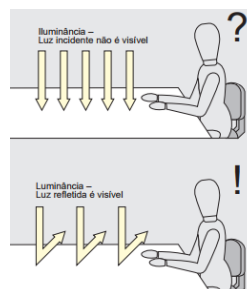


Figura 27 - Iluminância vs Luminância

A luminância define-se como sendo a razão entre a intensidade luminosa produzida, refletida ou transmitida por uma superfície e a área aparente ou projetada da mesma, ou seja, é a intensidade luminosa por unidade de área de uma superfície numa dada direção. Unidade de medida:  $\text{cd}/\text{m}^2$

**Eficiência luminosa** – A eficiência luminosa de uma lâmpada consiste na quantidade de luz emitida (fluxo luminoso) por unidade de potência elétrica consumida (W). Unidade de medida:  $\text{lm}/\text{W}$

**Classe de eficiência energética** - As lâmpadas devem também apresentar a etiqueta energética (Regulamento Delegado (UE) N.º 874/2011). Além da classe de eficiência energética, função da relação entre a potência da lâmpada e o seu fluxo luminoso útil, a etiqueta apresenta o consumo energético associado por 1000 horas de funcionamento, que corresponde a 1 ano de funcionamento considerando que se encontra acesa durante aproximadamente 3 horas por dia [50].



Figura 29 - Etiqueta Energética [48]

**Temperatura de cor** - Indica a aparência de cor da luz emitida pela fonte luminosa, comparada ao fluxo luminoso emitido pelo corpo negro a uma determinada temperatura, podendo estabelecer sensações de um ambiente “quente” ou “frio”. Unidade de medida: Kelvin (K) [51].



Figura 30 - Temperatura de cor [49]

**Restituição de cores:** Indica a capacidade de uma fonte luminosa restituir as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada, exprimindo-se pelo índice de restituição de cores (IRC), variando de 0% a 100%.

**Ra < 60** - pobre restituição da verdadeira cor do objeto iluminado

**60 < Ra < 80** - boa restituição da verdadeira cor do objeto iluminado

**80 < Ra < 90** - muito boa restituição da verdadeira cor do objeto iluminado

**90 < Ra < 100** - excelente restituição da verdadeira cor do objeto iluminado

**Encadeamento** - O encadeamento é uma sensação de desconforto que ocorre quando a luminância de um objeto é muito maior do que a luminância do campo visual. Acontece, por exemplo, quando olhamos diretamente para uma lâmpada.

## 2.6.2. Iluminação Natural

Os edifícios que são maioritariamente ocupados por pessoas necessitam de luz natural, pelas vantagens que proporciona aos seus ocupantes. Este tipo de iluminação, tem vantagens de natureza económica, tais como a redução dos custos associados à energia elétrica, e vantagens do ponto de vista psicológico e conforto, uma vez que a iluminação natural produz efeitos muito positivos e de bem-estar na maioria das pessoas. Existem cinco fatores muito importantes a considerar num projeto de iluminação natural: a captação, transmissão, distribuição, proteção e controlo. Para uma boa captação e transmissão da luz, é necessário ter em conta a orientação das fachadas do edifício, as diferentes épocas do ano e horas do dia, as dimensões e o tipo de material das janelas e caixilharias e as formas de abertura. Também o método como é efetuada a distribuição da luz natural, a proteção do interior contra o brilho excessivo ou sobreaquecimento e o controlo de sombreamentos, são aspetos muito importantes no projeto de iluminação natural de um edifício [52].

## 2.6.3. Iluminação Artificial

A iluminação artificial é obtida com recurso a vários tipos de lâmpadas. Em sistemas de iluminação com lâmpadas pouco eficientes, parte da energia elétrica consumida é convertida em calor, provocando um aumento de temperatura ambiente. Este acréscimo, gerado pela iluminação artificial, reflete-se no aumento do consumo de energia dos sistemas de climatização, de modo a compensar o aumento de temperatura. Este tipo de iluminação tem de estar sempre presente no interior do edifício, uma vez que é necessário iluminar as zonas em períodos noturnos, ou nos dias em que a qualidade da iluminação natural é medíocre. Com isto, vem a necessidade de desenvolver lâmpadas e luminárias mais eficientes, para se atingirem poupanças e reduções na fatura energética.

## 2.6.4. Principais componentes do Sistema de Iluminação Artificial

### 2.6.4.1. Lâmpadas

Existem variados tipos de lâmpadas que se podem aplicar num sistema de iluminação. De seguida, é feita uma breve análise sobre as principais soluções de luz artificial atualmente existentes no mercado, bem como alguns sistemas de controlo [53].

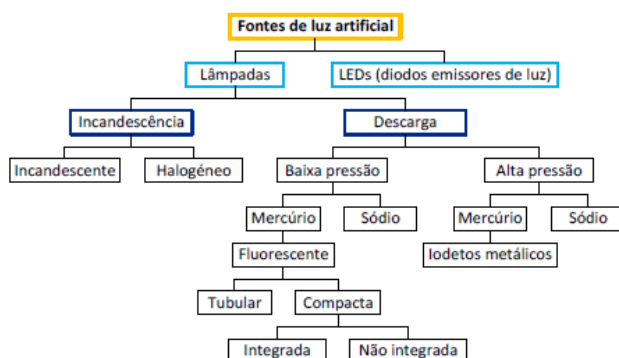


Figura 31 - Fontes de luz artificial [51]

## Lâmpadas de Incandescência

- Lâmpada Incandescente

A lâmpada incandescente é a mais antiga fonte de luz sobretudo em iluminação de interiores. A luz emitida por esta fonte, vem sempre acompanhada de uma radiação térmica bastante considerável, representando um claro desperdício de energia. Estas lâmpadas, apesar de garantirem uma iluminação de qualidade são pouco eficientes pois grande parte da energia consumida é dissipada sob a forma de calor ou em radiação não visível pelo olho humano [54].



Figura 32 - Lâmpada Incandescente [55]

O funcionamento das lâmpadas incandescentes, ocorre pela passagem de corrente elétrica num filamento de tungsténio, com alta resistência elétrica, que é levado à incandescência, produzindo luz e calor. Apenas uma parte da energia irradiada é libertada sob a forma de luz. Este tipo de lâmpadas não precisa de nenhum equipamento que auxilie o seu funcionamento, uma vez que ligam diretamente á rede elétrica [55].

Estas lâmpadas apresentam muito boa restituição de cores ( $IRC=100$ ), uma temperatura de cor de 2500K, possibilitam a variação do fluxo luminoso, tendo, no entanto, uma reduzida duração de vida (aproximadamente 1000h) e uma eficiência luminosa muito baixa (10lm/w). No entanto, como consequência da sua baixa eficiência energética e da sua curta vida útil, a União Europeia banuiu este tipo de lâmpadas do mercado [56], [57].

- Lâmpada de Halogéneo

Tais como as lâmpadas incandescentes, as lâmpadas de halogéneo também são radiadoras de temperatura. Estas lâmpadas, baseiam-se no ciclo de halogéneo regenerativo, sendo preenchidas com gases inertes e halogéneo que capturam os átomos de tungsténio e são transportados de novo para o filamento. Este processo repete-se durante todo o período de funcionamento da lâmpada [58], [59].



Figura 33 - Lâmpada de Halogéneo [57]

O ciclo de halogéneo permite que as lâmpadas sejam mais compactas do que as incandescentes clássicas, resultando num aumento considerável na qualidade da luz e na vida útil da lâmpada. As principais vantagens deste tipo de lâmpadas são o período de vida até 4000 horas de utilização, muito boa restituição de cores e uma eficiência luminosa de até 25 lm/W [56].

## **Lâmpadas de descarga**

Nas lâmpadas de descarga de alta pressão destacam-se:

- Lâmpadas de vapor de mercúrio;
- Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.

Nas lâmpadas de descarga de baixa pressão destacam-se:

- Lâmpadas fluorescentes (lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão);
- Lâmpadas fluorescentes compactas;

As lâmpadas fluorescentes podem ser classificadas de acordo com o seu formato em tubulares ou compactas.

- Lâmpada fluorescente tubular

As lâmpadas fluorescentes tubulares são muito utilizadas, uma vez que apresentam um baixo consumo energético e são adequadas para locais com necessidades de iluminação de longa duração. A eficiência luminosa é assim muito maior do que no caso das lâmpadas incandescentes, pois neste processo produz-se menos calor e a eletricidade destina-se, em maior proporção, à obtenção da própria luz. São mais caras do que as lâmpadas incandescentes, mas consomem até menos 60% de eletricidade para o mesmo fluxo luminoso e têm uma vida útil entre 8 a 10 vezes superior [55].

As lâmpadas são constituídas por um tubo de descarga contendo um gás ou vapor, de alta ou baixa pressão, e dois elétrodo situados nos extremos de um tubo. Aplicando-se uma tensão aos elétrodo, ocorre uma descarga elétrica, excitando os eletrões, levando-os à ionização do gás existente, que por sua vez origina a emissão de luz. Para ionizar o gás, é necessária uma descarga elétrica elevada, pelo que estes tipos de lâmpadas necessitam de um arrancador, capaz de gerar uma sobretensão quando a lâmpada é ligada. Outro equipamento necessário para as lâmpadas de descarga é o balastro, que tem por objetivo limitar a corrente fornecida à lâmpada após o arranque [58].

As lâmpadas fluorescentes apresentam um IRC elevado, possibilitando uma reprodução de cores muito elevada, utilizadas em iluminação de grandes áreas como escritórios, bancos, lojas, escolas, hospitais, hotéis, supermercados, bibliotecas, entre outros. Existem diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes tubulares que diferem na potência consumida e no tamanho, tais como: T12, T8 e T5 [58].



Figura 34 - Lâmpada fluorescente tubular [58]

Em resumo, têm um rendimento até entre 40 a 80 lm/W, com índice de restituição de cores de 85 a 95, temperatura de cor de 2700 a 5000 K e uma duração média de vida de 7500 a 10000 h. Com balastro eletrónico, a sua duração média aumenta em cerca de 50%. O tempo de arranque com balastro magnético é lento apresentando cintilação, contudo, com balastro eletrónico é instantâneo. Estas lâmpadas são aplicadas principalmente em iluminação interior [56], [60].

- Lâmpada fluorescente compacta

São pequenos tubos fluorescentes que têm sido progressivamente adaptados a vários tamanhos, formas e casquilhos das lâmpadas. São mais caras do que as tradicionais, se bem que a sua poupança em eletricidade permite amortizar um maior investimento muito antes de terminar o seu tempo de vida útil (entre 8.000 e 10.000 horas). Duram oito vezes mais que as lâmpadas tradicionais e proporcionam a mesma luz, poupando cerca de 60% de energia quando comparado com as incandescentes [54].

Estas lâmpadas são fabricadas em duas tipologias, fluorescentes compactas integradas com alimentação incorporada, não necessitando de acessórios externos para o seu funcionamento (balastro, arrancador e condensador) e fluorescentes compactas não integradas, necessitando neste caso de acessórios externos. A vantagem das não integradas é que, assim que a lâmpada necessitar de ser trocada, apenas é substituída a lâmpada. O balastro permanece em operação por um grande período, o que torna o sistema mais económico [54].



Figura 35 - Lâmpada fluorescente compacta [52]

Em resumo, estas lâmpadas têm o mesmo princípio de funcionamento que as lâmpadas fluorescentes tubulares, tendo, no entanto, geralmente incorporado já na lâmpada o arrancador, balastro ou condensador. Este tipo de lâmpada é uma boa solução para substituir as lâmpadas

incandescentes no setor doméstico, pela sua dimensão reduzida e existência com casquilho E27 ou E14, apresentando grande economia de energia, alta durabilidade e flexibilidade. Possuem um bom rendimento luminoso de 40 a 60 lm/W, um IRC superior a 80, uma duração média de vida de 5000 a 9000 h, uma temperatura de cor de 2700 a 5400 K, cores suaves e claras e ainda uma grande diversidade de formatos [56].

## LED

Os LED, em inglês, *Lighting Emitted Diodes* (Diodos Emissores de Luz), são componentes semicondutores, que têm a singularidade de transformar energia elétrica em luz. A luz gerada pelos LEDs é originada através do aquecimento destes semicondutores por uma pequena corrente elétrica. O LED consegue converter até 40% da energia elétrica consumida em luz, ao contrário das lâmpadas incandescentes que convertem apenas 10%. Este tipo de lâmpada tem um período de vida bastante grande, sendo bastante eficientes, pelo que a poupança de energia pode atingir até 80%, comparando com as lâmpadas clássicas de incandescência [53], [61].

Existem dois métodos diferentes para obter luz branca com LEDs. Um deles consiste numa combinação de fósforo excitado por uma emissão de radiação azul ou ultravioleta. Já o outro método resulta da combinação de LEDs monocromáticos com diferentes cores, revelando-se mais eficiente e flexível, uma vez que variando os comprimentos de onda de cada LED monocromático consegue-se obter diferentes resultados no que diz respeito ao rendimento, fluxo luminoso e IRC [62].

Os LEDs podem ser de baixa (0,1W), média (0,2W a 0,5W) e de alta potência (acima de 0,5W). Em geral, os de baixa e média potência são utilizados para sinalização e efeitos decorativos e os de alta potência em iluminação geral [58].

As principais vantagens dos LEDs, relativamente às restantes fontes de luz são [63]:

- Reduzido tamanho;
- Baixo consumo energético;
- Funcionamento em corrente contínua para tensões compreendidas entre 10 e os 24V;
- Vida útil de aproximadamente 50000h, e consequente redução dos custos de manutenção;
- Alta eficiência energética, de 60 a 100 lm/Watt;
- Temperatura de cor: 3000 a 6000 K;
- Não emitem luz ultravioleta, nem radiação infravermelha;
- Resistência a impactos e vibrações, variações de temperatura (entre -30°C e +60°C), garantindo a continuidade de operação;
- Controlo de variação de fluxo luminoso;
- Maior segurança, já que trabalham em baixa tensão e não contêm elementos perigosos (mercúrio);
- Acionamento imediato;



Por outro lado, apresentam algumas desvantagens como [63]:

- Custos de aquisição algo elevados;
- IRC de 60 a 90, podendo não ser o mais adequado;
- Necessidade de fonte de alimentação ou interface, como um transformador ou um driver, que converta as características de alimentação de uma tomada comum ao funcionamento do LED.



Figura 36 - Lâmpadas LED [63]

A eficiência energética das lâmpadas LED é maior que qualquer outra fonte de luz convencional, pelo que na maioria das vezes justifica a substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED. Adicionalmente, ao assegurar uma maior eficiência e desempenho em termos energéticos, a tecnologia LED reduz o consumo e, consequentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, tornando-se numa excelente alternativa para alcançar a sustentabilidade energética [64], [65].

#### 2.6.4.2. Balastros

Os balastros são equipamentos elétricos auxiliares que limitam o valor da corrente e regulam a tensão, sendo necessários para o arranque e estabilização das lâmpadas de descarga. As funções mais importantes dos balastros são: pré-aquecer os eletrodos para provocar a emissão dos eletrões, produzir a tensão de arranque que permita dar início à descarga e limitar de forma adequada o valor da corrente de funcionamento [66].

- Balastros eletromagnéticos

Os balastros eletromagnéticos são constituídos por um núcleo laminado de aço com baixas perdas, e bobinas de fio de cobre esmaltados. Devido à presença das bobinas, apresenta um baixo fator de potência, pelo que nas instalações onde se opta por este tipo de balastros, é necessária a utilização de equipamentos para compensar o fator de potência. Em relação às perdas os balastros eletromagnéticos podem ser classificados em três Classes: B (baixas perdas), C (standard), e D (altas perdas). Uma das medidas da UE em resposta ao protocolo de Quioto foi a redução da energia consumida pelos sistemas de iluminação fluorescente, banindo gradualmente e até ao ano 2005 os

balastros eletromagnéticos de menor eficiência, substituindo-os por outros de maior eficiência energética. Os balastros da classe C e D, de maior consumo energético, deixaram de poder ser utilizados [66].

A seguinte tabela mostra os consumos das várias classes dos balastros com a respetiva lâmpada [67].

Tipo de lâmpada	Potência da lâmpada	B1	B2	C	D
Fluorescente Linear (Casquilho G13)	18 W	≤24W	≤26W	≤28W	>28W
	36 W	≤41W	≤43W	≤45W	>45W
	58 W	≤64W	≤67W	≤70W	>70W
Fluorescentes compactas (Casquilho 2G11)	13 W	≤17W	≤19W	≤21W	>21W
	18 W	≤24W	≤26W	≤28W	>28W
	26 W	≤32W	≤34W	≤36W	>36W
Fluorescentes compactas (Casquilho G24)	18 W	≤24W	≤26W	≤28W	>28W
	24 W	≤32W	≤30W	≤34W	>34W
	36 W	≤41W	≤43W	≤45W	>45W

Figura 37 - Consumos típicos dos balastros com as respetivas lâmpadas [65]

- Balastros eletrónicos

Já os balastros eletrónicos são constituídos por condensadores e bobinas para alta frequência, resistências, circuitos integrados entre outros componentes eletrónicos. Estes balastros funcionam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), proporcionando um maior fluxo luminoso com menor potência consumida. Os balastros eletrónicos podem ser classificados nas seguintes classes: A1 - balastros eletrónicos com regulação, A2 - balastros eletrónicos com baixas perdas, e A3 - balastros eletrónicos standard. As principais vantagens dos balastros eletrónicos, relativamente aos eletromagnéticos são [47], [67], [68]:

- Possibilitam uma maior eficiência luminosa;
- Eliminação do denominado efeito de *flicker*: numa lâmpada funcionando a 50 Hz a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero. Isto produz o flicker, o qual provoca cansaço visual. Com o funcionamento da lâmpada a alta frequência a emissão de luz é contínua;
- Eliminação do ruído audível: os balastros eletrónicos funcionam acima da gama audível de frequências, pelo que o problema do ruído é eliminado;
- Menor potência absorvida: um balastro eletrónico consome menos potência e, portanto, dissipa menos calor do que um balastro magnético convencional. Esta redução de potência é possível, uma vez que a altas frequências, a lâmpada pode funcionar a uma potência mais baixa, com a mesma emissão de fluxo, alcançando-se reduções no custo da energia de 20 a 25%;
- Aumento do tempo de vida da lâmpada: um balastro eletrónico efetua um pré-aquecimento dos elétrodos antes de aplicar um impulso controlado de tensão, diminuindo o desgaste do material emissor de eletrões dos elétrodos;
- Controlo versátil do fluxo luminoso: existem balastros eletrónicos que permitem a regulação do fluxo luminoso;
- Não necessitam de equipamento para compensação do fator de potência.

### 2.6.4.3. Luminárias

A luminária ou armadura é um aparelho que incorpora a fonte de luz (uma ou mais lâmpadas) que distribui, filtra ou transforma a luz, emitida pelas mesmas. Inclui, para além destas, todas as peças necessárias à fixação e proteção das mesmas, bem como um conjunto de equipamentos necessários ao seu correto funcionamento, como balastros, refletores, arrancadores, refletores e difusores. Para além disso, tem como função dirigir o fluxo luminoso, assegurando conforto visual com uma eficiência máxima, evitando também o encandeamento e promovendo a dissipação de calor [49].

O IES (*Institute for Environment and Sustainability*) classifica a iluminação produzida por uma luminária pelo modo como esta a distribuiu [49]:

- Direta: mais de 90% da luz é distribuída para baixo (*downlighting*);
- Indireta: mais de 90 % da luz é distribuída para cima (*uplighting*);
- Semidirecta: entre 60 a 90% da luz é distribuída para baixo e o restante para cima;
- Difusa: percentagens semelhantes de luz são distribuídas para cima e para baixo;
- Destaque: a direção e abertura de projeção são ajustadas para cada objetivo

O controlo da distribuição da luz emitida pela luminária é efetuado com o recurso a refletores, refratores, defletores, difusores de luz e filtros: os refletores aumentam a eficiência da luminária, pois têm o objetivo de desviar a luz para os locais onde realmente necessitam de iluminação; Os refratores e os filtros são utilizados para ajudar na distribuição e controlo do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas, ou desviá-lo para determinadas direções (defletores); Os difusores servem para reduzir o ofuscamento ou a quantidade de luz proveniente de determinada direção. Tanto os difusores como os refletores têm a função de limitar o ângulo de encandeamento num determinado local, aumentando o conforto visual dos utilizadores [49].

### 2.6.4.4. Sistemas de controlo

Na procura recorrente de uma gestão energética cada vez mais eficiente, surgem variados conjuntos de soluções adaptáveis às necessidades dos diferentes e mais diversificados projetos de iluminação, tendo em conta os vários aspetos que envolvem o projeto, nomeadamente a iluminação natural, movimento, controlo e/ou monitorização e sempre numa vertente economicista, uma vez que a tecnologia escolhida, pode contribuir substancialmente para a redução dos consumos energéticos. Os sistemas apresentados são sempre adaptáveis às especificações do projeto final [69].

O aproveitamento da luz natural e a combinação com o sistema de iluminação artificial, depende essencialmente do sistema de controlo escolhido e da maneira como se dividem os circuitos de iluminação. Para o sistema de iluminação ser energeticamente eficiente, deve-se subdividir os circuitos de iluminação, permitindo assim uma melhor gestão energética por setor. Dividindo a iluminação artificial em vários sectores comandados individualmente, torna-se possível ter a iluminação ligada e desligada em diferentes partes do edifício, em função da iluminação natural. As lâmpadas pertencentes à mesma zona são controladas, de tal forma que possam fornecer um fluxo luminoso diferente das que estão instaladas noutros sectores, consoante a iluminância presente nos vários espaços [70].

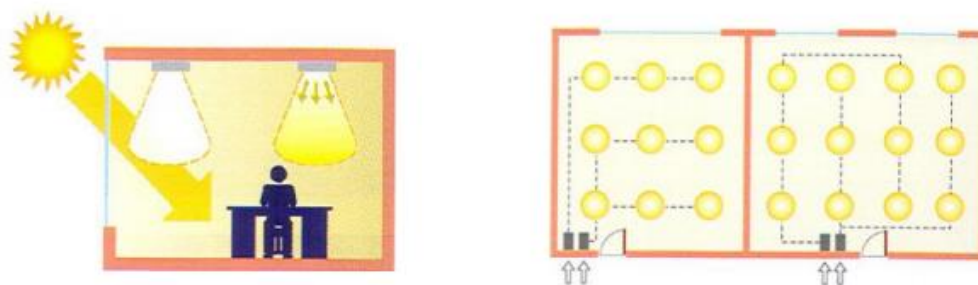


Figura 38 - Controlo da iluminação artificial [68]

Posto isto, a necessidade de evitar desperdícios energéticos, tornou necessária a evolução e o aperfeiçoamento de alguns sistemas e mecanismos de controlo. O comando dos sistemas de iluminação pode ser dividido em dois grupos: comando manual e comando automático, sendo que os principais tipos de controlo são apresentados de seguida.

#### 2.6.4.4.1. Sistemas de Controlo Manual

- Interruptor manual *on/off* e regulador manual de fluxo

A utilização do interruptor manual *on/off* é a estratégia mais primitiva de regulação do fluxo das lâmpadas em função da luz natural disponível. A ação de ligar a iluminação artificial quando se entra num local está diretamente ligada à disponibilidade de luz natural existente nesse momento, pelo que é um sistema pouco eficiente pois depende do bom senso dos ocupantes. Para realizar o comando manual dos circuitos de iluminação (ligação e corte) utilizam-se essencialmente interruptores, comutadores de lustre e comutadores de escada [61].

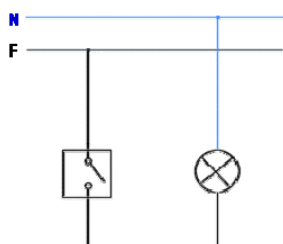


Figura 40 - Circuito do interruptor *on/off* [59]



Figura 39 - Regulador manual de fluxo [59]

Relativamente ao regulador manual de fluxo, apesar deste controlo ainda depender do bom senso dos ocupantes, evitam-se alterações abruptas no nível de iluminação, permitindo melhorar a adaptação visual. Os reguladores de fluxo manuais, permitem controlar a corrente fornecida à lâmpada permitindo assim ajustar os níveis de iluminação ao local e às tarefas a realizar [61].

#### 2.6.4.4.2. Sistemas de Controlo Automático

O recurso a sistemas automáticos de controlo de iluminação é geralmente a forma mais eficiente de gerir os circuitos de iluminação, otimizando a sua utilização, resultando normalmente em reduções de consumos energéticos significativos, sem afetar o conforto visual dos ocupantes [70].

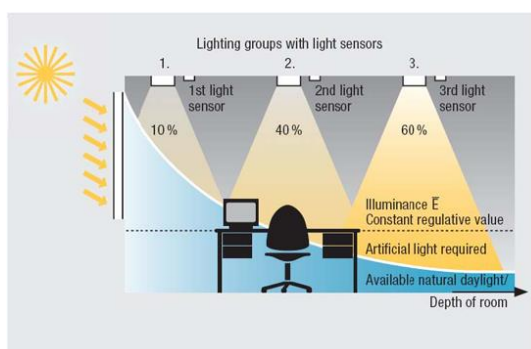


Figura 41 - Exemplo de um sistema de controlo de iluminação [68]

- Interruptor horário

Os interruptores horários, analógicos ou digitais, são equipamentos que permitem ligar e desligar a iluminação, todos os dias, a determinadas horas. As principais áreas de aplicação podem ser por exemplo, em parques de estacionamento, montras das lojas, piscinas, escolas, entre outros. Como principais vantagens do uso de interruptores horários, são a evidente economia de energia através da marcação do tempo necessário para a iluminação estar ligada e consequente redução do tempo de funcionamento das lâmpadas, aumentando deste modo o tempo médio de vida útil das mesmas [71].

- Automático de escada

Os automáticos de escada permitem o comando de um circuito de iluminação através de um impulso comandado por um botão de pressão, em que o desligar é automático, após a temporização pré-regulada. Este tipo de solução pode-se aplicar em escadas, halls, corredores, casas de banho, arrecadações, ou seja, em locais onde a presença de pessoas é pouco frequente e descontínua. A iluminação é ativada por um simples botão de pressão, desligando-se automaticamente após um tempo predefinido [71].

- Interruptor crepuscular

O interruptor crepuscular permite o comando da iluminação, influenciado pela luz natural, através da instalação de uma célula fotoelétrica no local a iluminar. Este tipo de sistemas permite regular o fluxo luminoso, sendo controlados por uma fotocélula que reage ao nível de iluminação natural existente, e ajusta o fluxo da iluminação artificial a fim de manter constante o valor da luminosidade pretendido no local (*dimming*). Desta forma, permite gerir racionalmente o funcionamento dos circuitos de iluminação [71].

- Detetores de presença e movimento

Os detetores de presença são aparelhos que respondem à presença e ausência de pessoas num local. O sistema é constituído por um sensor de movimento, uma unidade eletrónica de controlo e um relé. O sensor reage ao movimento e envia um sinal para a unidade de controlo, onde é processado, e enviado para o relé que controla a alimentação do sistema de iluminação. Para além desta característica, possui um comando automático da iluminação, que é desligada quando a luminosidade detetada é considerada suficiente proporcionando uma iluminação adequada a cada momento do dia [61].

- Sensor passivo de infravermelhos

Este tipo de sensor atua apenas quando reage ao movimento de energia infravermelha ou ao calor libertado pelos ocupantes dentro da área de alcance. É possível detetar a ocupação, verificando a diferença de temperatura emitida pelo corpo humano e a área em redor. Quando deteta uma fonte de energia infravermelha, gera um impulso, mudando de estado. Os sensores IV não devem ter qualquer obstáculo que interfira no campo de visão do mesmo [61].

- Sensor ultrassónico

Os sensores ultrassónicos servem neste caso para detetar ocupação, transmitindo ondas ultrassónicas em frequências superiores ao limite da perceção humana. São compostos por um transmissor, recetores e uma unidade de controlo eletrónico. Estes, funcionam através da emissão de ondas de som nos locais a detetar, medindo o tempo que leva para as ondas regressarem. Este sinal em alta frequência é comparado com a frequência do sinal refletido (efeito Doppler) e qualquer diferença é interpretada como a presença de alguém no local a detetar [61], [67].

- Sensor de dupla tecnologia

Estes sensores aliam as tecnologias de ultrassons e de infravermelhos passivos. A combinação das duas tecnologias, permite obter excelentes funcionalidades, elevada eficiência e segurança na sua utilização. Neste caso, o sistema de iluminação é ativado apenas quando ambos os sensores detetam a presença de pessoas, aumentando a fiabilidade do sistema, evitando que o sistema de iluminação

se acenda ou se apague desnecessariamente. Apresentam um custo maior, sendo por isso indicados para ambientes em que é necessário um alto grau de precisão, como salas de aula, corredores, entre outros [61], [67].

- Sistema de Gestão de Iluminação

O sistema de gestão é responsável pela gestão e controlo do sistema de iluminação no edifício. Este sistema é capaz de controlar a iluminação nos vários locais existentes, por grupos de luminárias ou de forma individual, em função da quantidade de luz natural existente e a ocupação dos espaços. O sistema visa não só a eficiência energética do sistema de iluminação, mas também o conforto do utilizador. Apesar de se tratar de um sistema automático de controlo, a iluminação pode ser ativada ou desativada através dos interruptores de parede, de forma a adaptar a intensidade luminosa às suas necessidades visuais. Contudo, para obter máxima eficiência, é utilizado para visualizar, controlar e regular a instalação, um computador, permitindo visualizar não só mensagens de erros e alarmes como também o estado dos diferentes equipamentos do sistema de iluminação, permitindo um controlo de toda a instalação [56], [61], [69], [72].

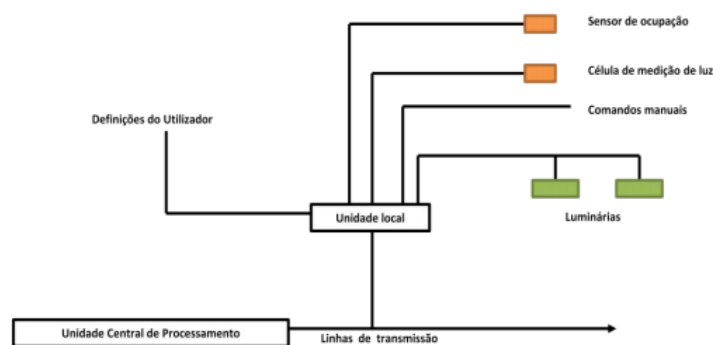


Figura 42 - Exemplo de um sistema de controlo de iluminação [71]

Este tipo de sistema permite combinar as tecnologias atrás referidas, como o ajuste da iluminação pela quantidade de luz natural que chega ao local, o controlo por sensores de movimento e a programação horária. O utilizador tem a possibilidade de adaptar a iluminação de um local à atividade a realizar no momento. Este tipo de tecnologia pode ser usado em grandes edifícios de serviços como escolas, hospitais, edifícios comerciais, mas também em edifícios industriais e residenciais. Um sistema de gestão centralizada apresenta três grandes vantagens [73]:

- Garante grande flexibilidade ao sistema;
- Regista informações úteis para a gestão energética e para a operação das fontes luminosas (horas de funcionamento, consumos energéticos, luminosidade, entre outros), permitindo economias de energia adicionais, assim como um melhor conforto visual;
- Possibilidade de integração do sistema de iluminação no sistema de gestão técnica centralizada do edifício.

No entanto, o seu investimento inicial é elevado e requer uma separação dos circuitos de potência e de comando, pelo que a implementação de um projeto desta natureza requer previamente um estudo luminotécnico.

## 2.7. Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

Os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) permitem controlar as condições de ar interior dos espaços, para níveis desejados, ao nível da temperatura do ar (aquecimento e arrefecimento), humidade relativa (humidificação e desumidificação), ventilação e da qualidade do ar (poeiras, gases). Grande parte dos sistemas pode apresentar a seguinte forma de funcionamento e distribuição [40]:

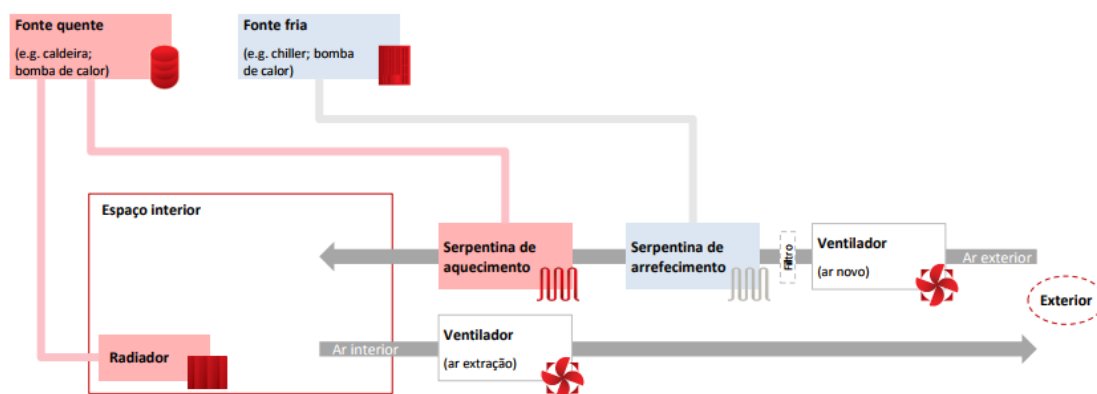


Figura 43 - Exemplo típico de um sistema AVAC [38]

Os sistemas AVAC podem ser classificados conforme a fonte térmica usada nos equipamentos terminais instalados nos espaços a climatizar. Posto isto, podem ser classificados como [74]:

**Sistemas tudo - ar** – neste tipo de sistemas, a remoção da carga térmica dos vários espaços do edifício é realizada apenas pelo ar tratado pelos equipamentos individuais ou centralizados. No caso dos sistemas centralizados, os equipamentos produtores de energia térmica utilizam geralmente a água como fluido primário para aquecimento e arrefecimento do ar. Este fluido percorre também as baterias de aquecimento/arrefecimento das UTA, sendo estas responsáveis pela climatização e tratamento do ar a insuflar nos vários espaços. Este sistema é normalmente utilizado para climatizar diferentes espaços, em que não existem grandes variações de carga térmica e as atividades e tipologias de uso são semelhantes para os locais do edifício. Uma alternativa para esta desvantagem passa pelo zoneamento das várias áreas do edifício, separando as várias zonas consoante as suas necessidades térmicas e instalando também várias unidades de tratamento de ar para servir as mesmas. Deste modo, torna-se possível controlar a temperatura nos diferentes locais do edifício. Para áreas maiores, podem ser adotados ventilo convetores que permitem a corrigir a temperatura interior nesses locais.

Nos sistemas “tudo-ar”, faz-se uma breve referência aos sistemas de Volume de Ar Constante (VAC), Volume de Ar Variável (VAV) e os de Volume e Temperatura Variável (VTV).

Existem essencialmente dois tipos de sistema: os que possuem uma unidade de via simples e os que possuem uma unidade de via dupla [75].



Nos sistemas tudo-ar com condutas simples, o ar a insuflar é enviado através da conduta principal, para os diferentes espaços a tratar, sem que haja nenhuma conduta de retorno para aproveitamento do ar extraído do mesmo local. Na figura seguinte é apresentada o sistema tudo ar de conduta simples [74].

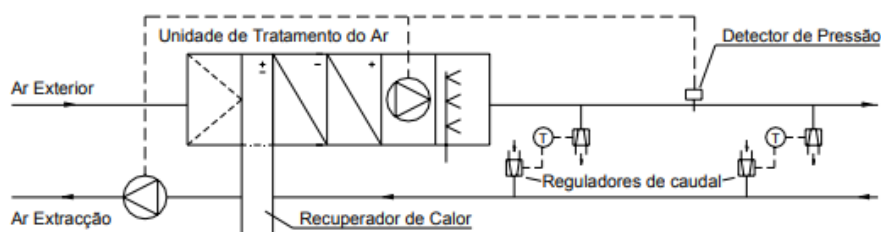


Figura 44 - Sistema tudo-ar com conduta simples [74]

No entanto existem três tipos de sistema que podem ter conduta simples ou conduta dupla: os sistemas de volume de ar constante (VAC), os sistemas de volume de ar variável (VAV) e os sistemas de volume e temperatura variável (VTV), como mencionado anteriormente [76].

Nos VAC, o caudal de ar insuflado é sempre constante, variando apenas a temperatura do ar de insuflação. Nestes sistemas, o ar é previamente tratado numa UTA, sendo posteriormente distribuído para os diversos espaços a climatizar. Contudo, devido à tipologia deste sistema, todos os espaços que são servidos por essa UTA, recebem o ar no mesmo estado, pelo que se devem apenas considerar este tipo de sistemas em espaços unitários, ou vários espaços, mas que apresentem as mesmas cargas térmicas e atividades semelhantes. Caso se pretenda um maior controlo sobre a temperatura e humidade em várias zonas, este sistema não será o mais indicado [74].

Nos sistemas VAV o caudal de ar é variável e a temperatura de insuflação é constante, pelo que é através da variação do caudal de ar que se torna possível atenuar as variações térmicas. Normalmente estes sistemas aplicam-se a locais onde existem grandes flutuações de cargas térmicas; pelo que deste modo, cada local que é servido pelo sistema de climatização de VAV, possui um termóstato que envia um sinal solicitando a abertura ou o fecho dos reguladores de caudal do ar, através da variação da velocidade do ventilador, em função da temperatura ambiente desse local, bem como da válvula de três vias. Por exemplo, no regime de arrefecimento o ar é tratado e insuflado pela UTA com um valor estabelecido para o espaço a climatizar. Caso a temperatura interior do espaço aumente, o caudal de ar a insuflar também irá aumentar [74].

Na figura seguinte está representado um sistema tudo-ar de conduta dupla. Existe uma conduta para o ar de retorno (extraído do local) que se irá misturar com o ar novo numa caixa de mistura, conseguindo-se, deste modo, ajustar a temperatura de insuflação, aproveitando também a temperatura do ar de retorno. Existem também uma bateria de água quente e outra de água fria, para ajustar e controlar a temperatura de insuflação [76].

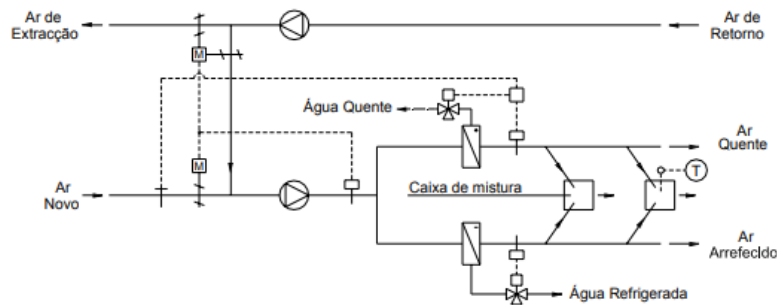


Figura 45 - Sistema tudo-ar com duas condutas [74]

Existem ainda sistemas de volume e temperatura variável, que permitem variar a temperatura e o caudal insuflado em função da temperatura, sendo neste caso necessária a existência de um sistema de gestão técnica no edifício. Este sistema torna-se numa ótima solução para controlar as temperaturas interiores nos vários locais do edifício e para reduzir o consumo de energia comparativamente com os outros sistemas [74].

**Sistemas tudo - água** – nos sistemas tudo – água, a distribuição do fluído térmico (neste caso, água) pelos equipamentos terminais é efetuada com água fria ou água quente (dependendo das necessidades), proveniente dos sistemas centralizados. Podem existir sistemas tudo-água a 2 tubos ou a 4 tubos, sendo que a diferença reside na possibilidade de poder ou não existir em simultâneo aquecimento e arrefecimento. Deste modo, existem diferentes tipos de soluções que se prendem com a possibilidade de poder ou não existir aquecimento e arrefecimento simultâneo. Os sistemas “tudo-água” podem ser também do tipo radiante (teto ou piso radiante) ou híbridos (convectivo-radiantes). Estes dois últimos não serão analisados, uma vez que não se enquadram no presente trabalho [77].

O processo de produção de água quente e fria é efetuado através das unidades produtoras de energia térmica (caldeiras, bombas de calor, chillers, entre outros).

**Sistemas água - ar** – os sistemas do tipo água – ar, baseiam-se na distribuição de ar e de água, em simultâneo, para os equipamentos terminais, a fim de climatizar os espaços do edifício. A solução mais frequente passa por remover a carga térmica do local através do circuito de água e remover ou fornecer energia térmica ao ar a insuflar no local. Resumidamente, dependendo da estação (aquecimento ou arrefecimento), arrefece-se ou aquece-se o ar, de acordo com as condições pretendidas e estabelecidas no SGT. As unidades terminais podem ser, por exemplo, ventilo convetores. À semelhança dos sistemas tudo-água, podem ser classificados como sistemas a 2 tubos, sistemas a 4 tubos e ainda sistemas radiantes (piso, paredes e teto) [74], [77].

**Sistemas de expansão direta e indireta** – Nestes sistemas, o arrefecimento e o aquecimento ocorrem com a expansão direta ou indireta de um fluído refrigerante. O sistema é do tipo reversível, ou seja, é capaz de arrefecer na estação de Verão e aquecer na estação de Inverno. Os sistemas de expansão direta podem ser classificados como: sistemas individuais ou “*Mini-Split*”, sistemas “*Multi-Split*” e sistemas de volume de refrigerante variável (VRV), em que todos eles funcionam com base no ciclo de refrigeração [74], [77].

Os sistemas de expansão direta dispõem de serpentinas onde o fluido refrigerante é expandido, absorvendo calor e dispersando-o para o exterior. Neste grupo, pertencem, como dito anteriormente, os sistemas “*Split*” ou “*Mini-Split*”, estando estas em duas unidades separadas: uma instalada no exterior do edifício e outra no interior. Deste modo, torna-se possível separar as fases de refrigeração, ficando na unidade exterior a fase de condensação e na unidade interior a fase de evaporação, estando, no entanto, ligadas entre si através de tubagens [74], [77].

Existem também os sistemas “*Multi-Split*”, que á semelhança das unidades “*Split*”, possuem uma unidade de condensação exterior, sendo, no entanto, possível conectar duas ou mais unidades interiores de evaporação.

Existem ainda os sistemas VRV, onde permitem colocar mais unidades interiores conectadas á unidade exterior, comparativamente aos sistemas “*Multi-Split*”. Nestes sistemas, a quantidade de fluido refrigerante pode ser regulada de acordo com a carga do local. A tecnologia “*inverter*” presente neste sistema, possibilita a resposta aos pedidos tanto de aquecimento, como de arrefecimento do local a climatizar, aumentando deste modo a flexibilidade do sistema, conseguindo reduções de consumo consideráveis. Existem três tipos de sistemas VRV: só arrefecimento, bomba de calor e recuperação de calor, que poderão ainda ser de 2 ou 3 tubos. A diferença nos sistemas a 3 tubos, reside na possibilidade de existirem unidades interiores a efetuar aquecimento e arrefecimento simultaneamente. O condensador também pode ser arrefecido a ar ou a água. Resumidamente, um sistema VRV apresenta um baixo custo de exploração, uma vez que o sistema permite controlar individualmente cada zona, sendo um sistema de AVAC com elevada eficiência energética [74], [77].

Relativamente aos sistemas de expansão indireta, o sistema utiliza como unidades produtoras de água fria, os chillers.

Contudo, os sistemas AVAC podem também ser classificados, consoante a localização dos equipamentos de produção de energia térmica. Posto isto, podem ser definidos como:

**Sistemas individuais** – nestes sistemas, os equipamentos de produção de calor e frio estão localizados nos próprios locais que estão a climatizar. Os equipamentos utilizados na produção de calor e frio, são normalmente, compactos utilizando também um fluido ou um gás refrigerante, tendo a capacidade de produzir a energia térmica localmente. As vantagens destes sistemas são o seu reduzido custo inicial, comparativamente aos sistemas centralizados, apresentando também uma maior flexibilidade [78].

**Sistemas centralizados** – nos sistemas centralizados, os equipamentos de produção de energia térmica estão instalados, geralmente em espaços próprios e reservados para o efeito, não estando deste modo, presentes nos locais a climatizar. Estes sistemas têm capacidade para climatizar a totalidade ou grande parte do edifício, por via de transferências de energia térmica (ar, água ou fluidos refrigerantes). As principais vantagens destes sistemas são a capacidade de climatizar grandes áreas, apresentado, contudo, um investimento inicial elevado [78].

Existem também sistemas semi-centralizados, que combinam os sistemas individuais e centralizados, ou seja, parte do edifício é climatizado por equipamentos individuais, localizados nos próprios locais a climatizar e também por equipamentos centralizados.

### **2.7.1. Sistema de AVAC**

#### **2.7.1.1. Equipamentos centralizados do sistema AVAC**

##### **Caldeiras**

Nos sistemas de aquecimento, são normalmente utilizadas como fonte produtora de energia térmica, as caldeiras. Estas podem ser divididas em três tipologias distintas: caldeiras para cogeração, caldeiras de recuperação de calor e caldeiras para processos industriais e aquecimento do fluído térmico para climatização.

As caldeiras de cogeração, possibilitam a produção combinada de calor e eletricidade. As caldeiras de recuperação de calor são aplicadas em situações onde se torna útil o reaproveitamento do calor resultante de processos industriais. Já as caldeiras para aquecimento e climatização destinam-se á transferência do calor resultante da queima de um combustível (por exemplo gás natural, gasóleo, pellets, entre outros) para um fluído térmico (normalmente água ou óleo) que é transportado para os equipamentos terminais localizados nas zonas a climatizar. Contudo, a escolha deste fluído deve ter em conta a temperatura de trabalho necessária para o processo em causa. Atualmente, existem caldeiras equipadas com sistemas de controlo, permitindo a regulação da queima de combustível de uma forma eficiente, consoante as necessidades de aquecimento, garantindo deste modo a temperatura desejada do fluído térmico á saída da caldeira [79].

##### **Chillers**

Relativamente aos sistemas de arrefecimento, são geralmente utilizados como geradores de frio, os *chillers*. Existem essencialmente dois tipos principais de *chillers*: os de compressão ou elétricos e os de absorção. Estes últimos, necessitam de uma fonte quente para produzir água fria, pelo que utilizam uma solução de um sal num processo termoquímico de absorção [43].

Estes equipamentos arrefecem a água, sendo posteriormente distribuída pelas tubagens até às baterias de arrefecimento das unidades de tratamento de ar e ventilo convetores, arrefecendo o ar que será insuflado nas várias zonas a climatizar. O arrefecimento da água ou de um outro fluído, ocorre pela remoção de calor, através de um ciclo de refrigeração, compressão ou absorção de vapor. Existem também dois tipos de unidades de produção de água fria: com condensador formado por serpentinas de condensação, arrefecido a ar e que geralmente são equipamentos instalados no exterior do edifício, e com condensador arrefecido a água [43][80].

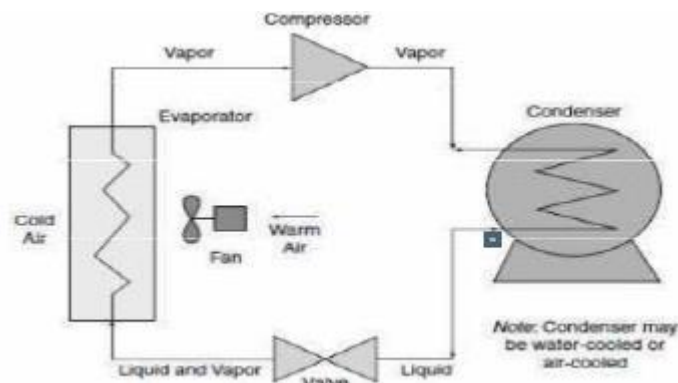


Figura 46 - Ciclo de refrigeração por compressão [78]

### **Bombas de calor**

Pode-se resumidamente afirmar que as bombas de calor transferem a energia do solo ou da água, a uma temperatura mais baixa, para o ar no interior dos espaços a climatizar a uma temperatura mais elevada (na estação de Inverno), ou transferem a energia presente no interior dos espaços para o exterior (na estação de Verão), pelo que neste caso, o equipamento terá que ser do tipo reversível. Entre estes dois meios, o calor é transferido através de um fluido refrigerante. O sistema possui dois permutadores de calor, um para absorver o calor e outro para libertar o calor, sendo que a bomba que extrai a energia a uma certa temperatura, eleva a mesma, e liberta-a num meio que geralmente é a água, que posteriormente é bombeada para os ventilo convetores ou para as unidades de tratamento de ar. As bombas de calor, recuperando o calor de uma fonte externa, permitem que seja utilizada apenas uma quantidade reduzida de energia, conseguindo alcançar deste modo reduções na fatura energética. As fontes de calor podem ser o ar exterior, o ar de exaustação proveniente do interior do edifício, o solo e águas, apresentando deste modo alta flexibilidade e capacidade de adaptação. Contudo, a fonte normalmente utilizada é o ar exterior [81].

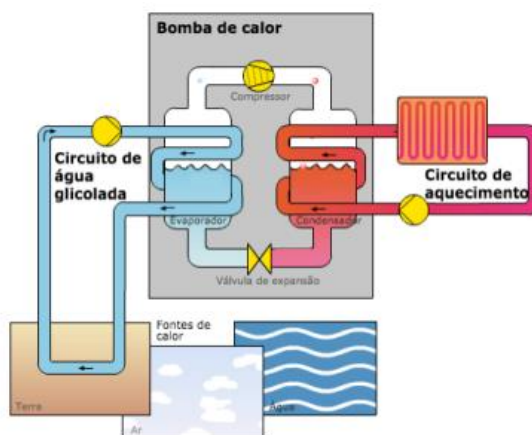


Figura 47- Esquema de uma bomba de calor (Dimplex)

As bombas de calor podem ser do tipo reversíveis ou não reversíveis. As primeiras, permitem que o ciclo termodinâmico seja invertido, isto é, são capazes de arrefecer na estação de Verão e aquecer na estação de Inverno. Podem ainda, dependendo da fonte externa de calor que utilizam, ser do tipo: Ar/ar, ar/água e água/água. No caso em que é utilizado o ar como fonte energética, o COP (coeficiente de desempenho) diminui com a diminuição da temperatura do ar exterior, uma vez que o COP resulta do quociente entre a potência calorífica fornecida e a potência elétrica consumida. Normalmente as bombas de calor podem apresentar um COP até 5, ou seja, consome apenas 1kWh de energia elétrica para fornecer 5kWh para aquecimento da água, pelo que este equipamento apresenta uma elevada eficiência energética, comparada com outros equipamentos produtores de energia térmica. De igual forma, se o sistema gerar 5kW de frio com 1kW de energia elétrica, o seu EER também será de 5. Deste modo, quanto maior o COP e o EER, maior eficiência energética apresentará o sistema [76], [81].

### **Eletrobombas**

Para efetuar a bombagem do fluido térmico, são necessárias eletrobombas para alimentarem tanto as unidades terminais como as unidades produtoras de energia térmica. Normalmente, são utilizadas eletrobombas centrífugas para alimentação dos sistemas produtores de energia. Em casos onde existam caudais reduzidos, são utilizadas eletrobombas volumétricas rotativas. Por outro lado, a fim de obter melhores rendimentos e desempenhos no sistema de bombagem, devem ser seleccionadas eletrobombas com classe IEE3 ou IEE4, que apresentam rendimentos elevados, um sistema de controlo ligado ao SGT e variadores eletrónicos de velocidade [82].

### **Unidades de tratamento de ar**

As unidades de tratamento de ar (UTA) tratam o ar que será fornecido ao interior do edifício através da rede de condutas de ventilação, que tanto insuflam o ar já condicionado como retornam o ar extraído dos locais. Este tratamento consiste na filtragem, humificação e/ou desumificação e aquecimento e/ou arrefecimento do ar, em que cada UTA pode servir uma ou várias zonas do edifício. Este equipamento consiste numa grande caixa onde se encontram pelo menos um ventilador mecânico, baterias de aquecimento e arrefecimento, uma secção de filtragem e um módulo de mistura. A água que é servida às baterias pode ser fornecida principalmente por caldeiras, *chillers* e bombas de calor, pelo que o ar que passará pelas baterias poderá ser aquecido ou arrefecido, sendo que será posteriormente encaminhado para as condutas de ar. Para a circulação do ar, são normalmente utilizados ventiladores centrífugos, em que associados ao variador de frequência, poderão funcionar a diferentes velocidades, implicando diferentes caudais de ar [82].

Existem UTA que podem reaproveitar o ar extraído do interior do edifício, misturando-o com o ar novo proveniente do exterior. Neste caso, denominam-se por Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN). Os recuperadores de calor podem ser do tipo: fluxos cruzados, bomba de calor, roda térmica e caixas de mistura. Estas últimas (existentes no edifício estudado) realizam a mistura do ar novo com o ar extraído do edifício, regulando a abertura de entrada do ar extraído conforme a temperatura e o caudal desejado, permitindo deste modo reduzir o consumo de energia em aquecimento e arrefecimento. Posto isto, temos os dois principais tipos de unidades de tratamento de ar [82]:

### Unidade de via simples

Nestes sistemas mais simples, as UTAN recolhem o ar do exterior e tratam apenas o ar a insuflar, ou seja, 100% de ar novo. A UTAN tem apenas uma via, a de insuflação, sendo a unidade de extração independente desta unidade, não dispondo deste modo, de nenhum sistema de recuperação de energia.

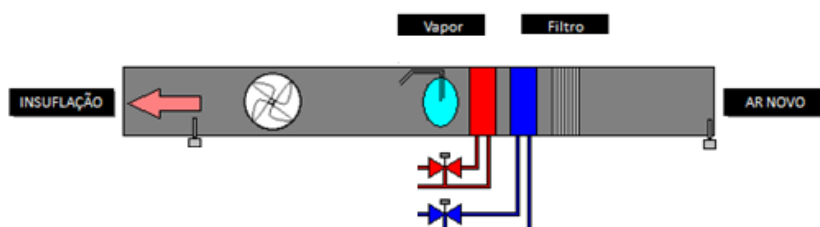


Figura 48 - Unidade de tratamento de ar de via simples

### Unidade de via dupla

Nestes sistemas, uma percentagem do ar de retorno é aproveitada, isto é, o ar de insuflação é uma mistura de ar novo com o ar de retorno extraído dos espaços ventilados. Estas unidades são então de duas vias, tendo uma via de insuflação e outra de retorno, separados por um *damp*er, que tem a função de controlar a mistura de ar extraído dos espaços com o ar novo a insuflar.

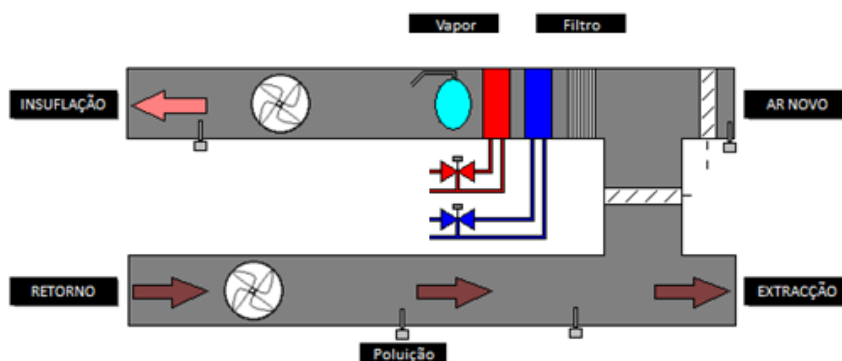


Figura 49 - Unidade de tratamento de ar de via dupla

Estas unidades podem também funcionar com 100% de ar novo, quer por necessidades de ventilação, quer para tirar partido do método de arrefecimento. Nestes sistemas, existe um caudal primário proveniente da conduta principal de insuflação, podendo acrescentar ou retirar calor ao ar de insuflação a fim de garantir o "setpoint" estipulado, e um caudal de ar secundário (ar de retorno) com uma temperatura geralmente superior á do ar da conduta primária.

Os principais equipamentos constituintes das UTAN são:

- Ventiladores de insuflação e extração

A circulação de ar na UTA é feita com recurso a dois ventiladores. O ar é insuflado por um ventilador na conduta de insuflação e extraído por um ventilador na conduta de extração. Os ventiladores têm como principal objetivo a renovação do ar nos vários espaços e a remoção de elementos existentes no ar interior tais como poeiras, gases e odores. O caudal de ar que entra no espaço a climatizar é superior ao caudal de ar de exaustão, de modo a criar uma ligeira sobrepressão que permite reduzir a entrada de elementos como poeiras provenientes dos espaços [82], [83].

- Humidificador

Com o intuito de controlar a humidade no interior dos espaços a climatizar, recorre-se a humidificadores localizados na conduta de insuflação, à saída da serpentina de aquecimento e arrefecimento. Estes humidificadores, geradores de vapor, utilizam o gás como fonte de energia externa, para levar a água à ebulição e produzir vapor. A água utilizada é a mesma que circula nas tubagens que provêm das caldeiras e dos chillers. O controlo do vapor gerado é feito através de sensores de humidade que regulam a capacidade do humidificador para obter o setpoint de humidade desejado [82], [83].

- Filtro

O filtro apresenta-se com um dos componentes mais importantes de uma unidade de tratamento e distribuição de ar, pois são responsáveis pela qualidade do ar novo insuflado, removendo partículas em suspensão, como poeiras, pólen e bactérias, mantendo limpos alguns componentes da unidade [82], [83].

- Variador de frequência

As UTA podem possuir um variador de frequência tornando possível a variação da velocidade do ventilador, consoante as necessidades momentâneas das zonas servidas pelas UTA. Estas unidades de caudal de ar variável funcionam através do controlo da velocidade de rotação do motor que aciona o ventilador, dando resposta às variações de cargas pela modelação de caudal de ar, aumentando ou diminuindo, garantindo a qualidade de ar interior. O seu funcionamento tem por base a variação de pressão na conduta principal de alimentação de ar, isto é, quando a unidade terminal é ligada ou desligada, a pressão na conduta de insuflação aumenta ou decresce, respetivamente. Assim, é possível controlar a velocidade do ventilador a fim de manter o “setpoint” da pressão [82], [83].



### 3. Caso de estudo

O presente capítulo descreve e caracteriza a biblioteca da Universidade de Aveiro, onde é efetuada uma análise energética ao edifício, descrevendo e abordando os estudos realizados sobre o sistema de iluminação e o sistema de climatização existentes nos vários locais do edifício.

#### 3.1. Identificação e caracterização das áreas do edifício

##### 3.1.1. Biblioteca da Universidade de Aveiro

A biblioteca da Universidade de Aveiro situa-se no Campus de Santiago, na cidade de Aveiro, construída em 1995. Nela, são disponibilizados recursos informativos e multidisciplinares, que servem de suporte ao ensino, aprendizagem e à investigação da Universidade de Aveiro, servindo também como local de estudo dos vários estudantes da Universidade. O projeto do edifício tem a assinatura do arquiteto Álvaro Siza Vieira.



Figura 50 - Biblioteca da Universidade de Aveiro

O edifício é composto por quatro pisos acima do solo totalizando uma área útil de 4643m<sup>2</sup> e uma área bruta de 6500m<sup>2</sup>. A entrada para o edifício situa-se no primeiro piso, virada a sul, dando acesso ao átrio do edifício. A circulação para cada piso é feita pela caixa de escadas ou então pelos dois elevadores. A biblioteca tem capacidade para 1000 lugares sentados, 18 gabinetes de estudo individuais, 28 gabinetes de estudo individuais e de audiovisuais e 8 salas de estudo de grupo. Está protegido por um sistema de intrusão e um sistema de segurança contra incêndios, extintores, bocas-de-incêndio e a respetiva sinalética obrigatória. A biblioteca também possui um sistema de climatização e ventilação, assegurando a climatização dos vários espaços existentes no edifício.

Tabela 2 – Áreas dos principais espaços da biblioteca

Espaços	Área (m2)
Área bruta	6500
Área útil	4643
Área de gabinetes	429
Área de salões de leitura	3675
Área de espaços técnicos	516
Área de zonas de circulação, WC, sala de exposições e bengaleiro	986

O primeiro piso é maioritariamente restrito aos funcionários da biblioteca, onde se situam os gabinetes administrativos, gabinetes de estudo individual, salas de reuniões, trabalho, restauro e de formação, arquivos, o depósito de publicações e a casa das máquinas.

Na entrada principal da biblioteca, no segundo piso, existe um espaço destinado a informações relativas ao funcionamento do edifício, disponibilizando também um serviço de bengaleiro, uma sala de exposições e uma reprografia.

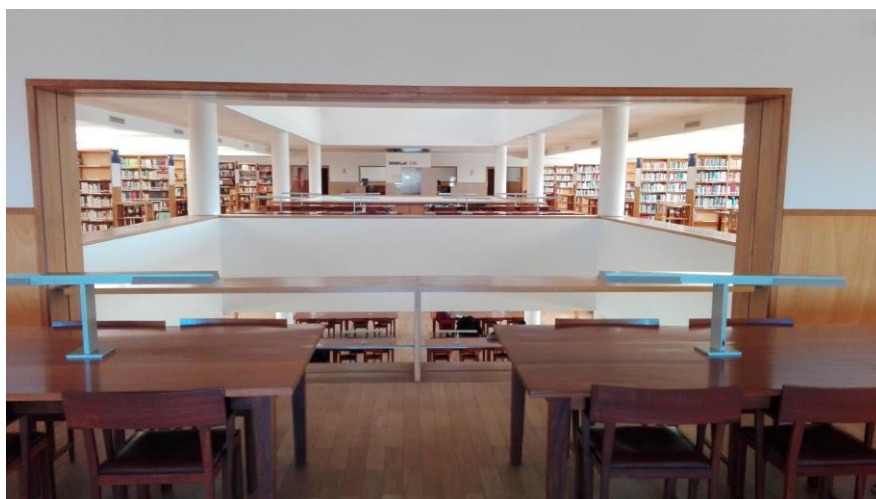


Figura 51 - Terceiro piso da biblioteca

Estão disponíveis gabinetes equipados com aparelhos de leituras de CD's, DVD's, ecrãs, microfichas, microfilmes, entre outros, localizados no terceiro piso do edifício. A par disto, existem também gabinetes de estudo individual, de grupo e de audiovisuais. Neste piso está também localizada a sala de partituras, que possui uma grande coleção de partituras musicais.

O Centro de Documentação Europeia (CDE) da Universidade de Aveiro encontra-se no quarto piso do edifício, disponibilizando ao utilizador uma sala de leitura com capacidade para cerca de trinta pessoas e documentação generalista sobre informação europeia, fazendo parte da Rede de Centros de Documentação Europeia. Foi também estabelecido um centro de informação, *American Corner*, disponibilizando computadores e coleções impressas dos EUA. Tal como os restantes pisos, existem gabinetes de estudo individual e de audiovisuais e ainda espaços de arquivo e museologia.



Figura 52 - Quarto piso da biblioteca

Em todos os pisos, à exceção do primeiro, existem salões de estudo e leitura, que representam os espaços com maior área do edifício. A consulta de documentos é livre e os utilizadores têm acesso a condições adequadas ao estudo e à realização de trabalhos, grandes mesas de estudo, cada uma com capacidade para 8 pessoas e estantes de livros. O edifício também possui instalações sanitárias em todos os pisos.

A biblioteca da Universidade de Aveiro está aberta durante todo o ano, à exceção do mês de agosto, domingos, feriados e tolerâncias de ponto. O horário normal de funcionamento da biblioteca durante a semana é das 9:00 horas às 22:00 horas, encerrando às 18:00h ao sábado. Durante o mês de junho e parte de julho, a biblioteca encerra às 23:00h, uma vez que se considera como período de preparação para exames.

O sistema de aquecimento trabalha tipicamente nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro e março. Já o sistema de arrefecimento funciona apenas nos meses de Verão, junho, julho e setembro. No Inverno os equipamentos produtores de energia térmica iniciam o seu funcionamento às 08:00h, desligando pelas 22:00 horas. No Verão, iniciam às 08:30 horas e desligam às 18:30 horas. Já as UTAN iniciam às 08:30 horas e desligam às 21:00 horas. Aos sábados nenhum sistema se encontra em funcionamento.

A iluminação está sempre ligada durante o período de funcionamento da biblioteca, ou seja, das 9:00 horas às 22:00 horas na maioria das zonas do edifício. Para os computadores de secretária destinados aos funcionários, foi estipulado que estivessem ligados durante 9 horas de segunda a sexta-feira. Os que estão destinados aos utilizadores, considerou-se uma utilização diária de 13:00 horas, ou seja, durante todo o horário de funcionamento da biblioteca.

Cada piso tem características próprias, pelo que a caracterização dos espaços do edifício será feita com recurso a tabelas, com o intuito de facilitar a interpretação da área, o nome e o piso onde cada um desses espaços se encontra, a área útil e os equipamentos lá existentes. As plantas e as designações dos espaços encontram-se nos Anexos 1, 2, 3 e 4.

## 3.2.Sistema de Iluminação

### 3.2.1. Caracterização do sistema de iluminação

Para analisar o sistema de iluminação da biblioteca, foi realizado um levantamento das áreas de cada espaço, assim como as lâmpadas que estão instaladas nos mesmos. Após a recolha dos dados, é efetuada uma análise detalhada do consumo do sistema de iluminação. Foram também realizadas medições da iluminância média para cada espaço mais significativo com o auxílio de um luxímetro. Os valores dos níveis de iluminância média medidos foram comparados com os valores de referência definidos para cada espaço.

O comando dos sistemas de iluminação é feito de forma manual, primariamente com recurso aos quadros elétricos existentes em cada piso e interruptores (escadas). O edifício tem uma potência de iluminação instalada de aproximadamente 32824 kW, repartida pelos quatro pisos, o que representa uma densidade de iluminação de 7,07 W/m<sup>2</sup>.

Devido ao horário de funcionamento da biblioteca e às características construtivas do edifício, a iluminação dos espaços interiores é feita com recurso à iluminação natural (janelas e claraboias) e à iluminação artificial. A iluminação da biblioteca está ligada durante quase todo o período de funcionamento da mesma (09:00 horas – 22:00 horas ou 09:00 horas – 23:00 horas em época de exames), à exceção do primeiro piso, onde a iluminação é desligada quando os funcionários que lá trabalham acabam o seu horário de trabalho e abandonam o edifício.

Foram realizadas leituras da iluminância nos espaços de trabalho dos vários locais da biblioteca, onde se concluiu que os níveis de iluminância estão adequados para alguns espaços e desadequados para outros, estando estes sobredimensionados ou subdimensionados comparando com os valores recomendados pela norma EN 12464-1.

Verificou-se também que existem espaços onde a iluminação está sempre ligada, mesmo estando desocupados. Dada a configuração atual do sistema de iluminação, torna-se difícil fazer um aproveitamento eficiente da iluminação natural.



Figura 53 - Luminária com duas lâmpadas fluorescentes compactas

As cargas de iluminação, em quase todos os espaços da biblioteca, são constituídas por lâmpadas fluorescente tubulares de 36W ou 58W, montadas em armaduras metálicas de duas lâmpadas (no caso das lâmpadas de 36W) com balastros eletrônicos e lâmpadas fluorescentes compactas de 8, 13, 18, 24 e 36W.

De um modo geral, as zonas de estudo (salões de estudo/estante e mesas de estudo) são equipadas com lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W com balastros eletrônicos (Figura 55) e lâmpadas fluorescentes compactas de 24W, respetivamente. Cada estante grande possui nove lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W, enquanto que as estantes pequenas possuem apenas seis.



Figura 54 - Candeiros nas mesas de estudo com duas lâmpadas fluorescentes compactas



Figura 55 - Lâmpadas fluorescentes tubulares instaladas nas estantes

Cada mesa localizada nas últimas estantes de cada piso e nas mesas situadas nas áreas centrais dos salões de leitura, têm dois candeiros, cada um com duas lâmpadas fluorescentes compactas de 24W (Figura 54).

Os gabinetes de estudo individuais, possuem apenas uma lâmpada fluorescente compacta de 8W (Figura 56). Já as salas de estudo de grupo possuem luminárias no teto com duas lâmpadas fluorescentes compactas de 36W. Estes últimos encontram-se sempre em funcionamento, tais como as lâmpadas presentes nas zonas de acesso e circulação.



Figura 56 - Lâmpada incandescente num gabinete de estudo individual

Os balcões de informação (um em cada piso), possuem 5 lâmpadas fluorescentes de 8W. Os corredores, zonas de circulação, e as escadas, possuem luminárias equipadas com duas lâmpadas fluorescentes compactas de 36W. Por fim, as casas de banho estão equipadas com 4 lâmpadas fluorescentes compactas de 18 W e duas lâmpadas fluorescentes compactas de 13W.

Após as várias inspeções ao edifício, foi possível retirar a quantidade de lâmpadas existentes por piso. No primeiro piso, existem essencialmente 34 lâmpadas fluorescentes tubulares de 58W instalados no Depósito de publicações, 116 lâmpadas fluorescentes compactas de 36W instaladas maioritariamente nos gabinetes administrativos, nas salas de trabalho e formação, na sala de leitura informal e nas zonas de acesso e circulação. Nos gabinetes de estudo individual, encontram-se 10 lâmpadas fluorescentes compactas economizadoras de 8W, uma em cada gabinete. A iluminação nas instalações sanitárias masculinas e femininas é realizada através de 8 lâmpadas fluorescentes compactas de 18W e 4 lâmpadas fluorescentes compactas de 13W. O mesmo acontece com os restantes pisos.

Tabela 3 - Lâmpadas existentes no Piso 1

Piso 1	Lâmpada	Marca	Modelo	Potência (W)	Qtd.	Pot. Total (W)
	Fluorescente Tubular 58W	Philips	TD-L 58/840	58	34	1972
	Fluorescente Compacta 36W	OSRAM	PL 36W	36	116	4176
	Fluorescente Compacta 18W	OSRAM	DULUX T PLUS	18	8	144
	Fluorescente Compacta 13W	OSRAM	DULUX D	13	4	52
	Fluorescente Compacta 8W	Philips	PLE-C 8W	8	10	80

No segundo piso, grande parte da potência instalada encontra-se no salão de leitura onde existem 147 lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W instaladas nas estantes, a fim de iluminar as mesmas e as zonas de trabalho (mesas) e 56 lâmpadas fluorescentes compactas de 24W instaladas nas mesas que existem no salão de leitura. Nas zonas de acesso e circulação, hall de entrada, no bengaleiro e na sala de exposições encontram-se instaladas 48 lâmpadas fluorescentes compactas de 36W, existindo também 10 lâmpadas fluorescentes compactas nos gabinetes de estudo individual.

Tabela 4 - Lâmpadas existentes no Piso 2

Piso 2	Lâmpada	Marca	Modelo	Potência (W)	Qtd.	Pot. Total (W)
	Fluorescente Tubular 36W	Philips	TL-D 36W/840	36	147	5292
	Fluorescente Tubular 8W	Philips	TL-D 8W	8	5	40
	Fluorescente Compacta 36W	OSRAM	PL 36W	36	48	1728
	Fluorescente Compacta 24W	Philips	PL-L 24W/830	24	56	1344
	Fluorescente Compacta 18W	OSRAM	DULUX T PLUS	18	8	144
	Fluorescente Compacta 13W	OSRAM	DULUX D	13	4	52
	Fluorescente Compacta 8W	Philips	PLE-C 8W	8	10	80

No terceiro piso existem 162 lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W instaladas nas estantes e 56 lâmpadas fluorescentes compactas nas mesas do salão de leitura. Neste piso, existem também 44 lâmpadas fluorescentes compactas de 36W majoritariamente presentes nas zonas de circulação e nas salas de estudo de grupo. Este piso é o que tem mais gabinetes de estudo individual, pelo que existem também 18 lâmpadas economizadoras fluorescentes compactas de 8W presentes nos mesmos.

Tabela 5 - Lâmpadas existentes no Piso 3

Piso 3	Lâmpada	Marca	Modelo	Potência (W)	Qtd.	Pot. Total (W)
	Fluorescente Tubular 36W	Philips	TL-D 36W/840	36	162	5832
	Fluorescente Tubular 8W	Philips	TL-D 8W	8	5	40
	Fluorescente Compacta 36W	OSRAM	PL 36W	36	44	1584
	Fluorescente Compacta 24W	Philips	PL-L 24W/830	24	56	1344
	Fluorescente Compacta 18W	OSRAM	DULUX T PLUS	18	8	144
	Fluorescente Compacta 13W	OSRAM	DULUX D	13	4	52
	Fluorescente Compacta 8W	Philips	PLE-C 8W	8	18	144

Já no quarto piso, existem 162 lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W e 48 lâmpadas fluorescentes compactas de 24W instaladas, respetivamente, nas estantes e nas mesas do salão de leitura. Para além disso, existem também 36 lâmpadas fluorescentes compactas de 36W instaladas essencialmente nas zonas de circulação e no *American Corner*.

Tabela 6 - Lâmpadas existentes no Piso 4

Piso 4	Lâmpada	Marca	Modelo	Potência (W)	Qtd.	Pot. Total (W)
	Fluorescente Tubular 36W	Philips	TL-D 36W/840	36	162	5832
	Fluorescente Tubular 8W	Philips	TL-D 8W	8	5	40
	Fluorescente Compacta 36W	OSRAM	PL 36W	36	36	1296
	Fluorescente Compacta 24W	Philips	PL-L 24W/830	24	48	1152
	Fluorescente Compacta 18W	OSRAM	DULUX T PLUS	18	8	144
	Fluorescente Compacta 13W	OSRAM	DULUX D	13	4	52
	Fluorescente Compacta 8W	Philips	PLE-C 8W	8	8	64



Tabela 7 - Lâmpadas existentes no Piso 4

Lâmpada	Quantidade Total
Fluorescente Tubular 58W	34
Fluorescente Tubular 36W	471
Fluorescente Tubular 8W	15
Fluorescente Compacta 36W	244
Fluorescente Compacta 24W	160
Fluorescente Compacta 18W	32
Fluorescente Compacta 13W	16
Fluorescente Compacta 8W	46

Lâmpadas existentes no edifício

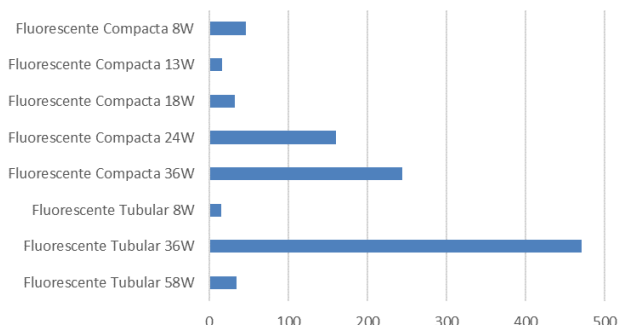


Figura 57- Comparação por tipo de lâmpada

Após esta análise, conclui-se que as lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W são as que existem em maior número no edifício, representado 45% do número total de lâmpadas. De seguida surgem as lâmpadas fluorescentes compactas de 36W responsáveis por 23% e as lâmpadas fluorescentes compactas de 24W, representando 15%. É importante salientar que, nem todas as lâmpadas estão operacionais ou necessitam de estar em funcionamento, pelo que esta informação foi considerada na estimativa do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação.

Potência instalada por piso

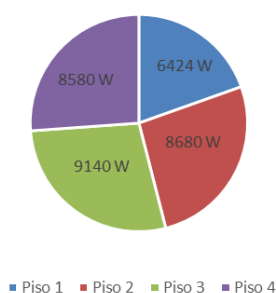


Tabela 8 - Potência instalada por piso

Piso	Potência instalada (W)
Piso 1	6424
Piso 2	8680
Piso 3	9140
Piso 4	8580
<b>Pot. Total</b>	<b>32824</b>

Figura 58 - Potência instalada por piso

O gráfico acima exposto, represente a respetiva desagregação do consumo de energia por piso, indicando que a potência instalada no primeiro piso é de 6424W, sendo que no segundo piso é de 8680W, no terceiro piso de 9140W e por último no quarto piso com 8580W. Em termos percentuais, o primeiro piso representa 20%, o segundo 26%, o terceiro piso, com maior representatividade no consumo de iluminação do edifício, representa 28% e por fim o último piso que representa 26% da potencia instalada do edifício.



### 3.2.2. Consumo do sistema de iluminação

O consumo do sistema de iluminação foi calculado tendo em conta a potência instalada (excluindo balastros) em cada tipo de área. Com base no horário de funcionamento dos vários espaços e dos perfis de utilização dos mesmos, estimaram-se as horas de funcionamento dos equipamentos de iluminação nas várias zonas, para se poder calcular a energia consumida por parte deste sistema. Os horários e os fatores de utilização foram definidos a partir da informação recolhida através de vários funcionários do edifício e de visitas constantes à biblioteca. Assumiram-se fatores de utilização diferentes para dias úteis e não úteis (sábados), uma vez que a ocupação ao fim de semana é bastante menor.

Principais pressupostos e considerações:

A potência total ( $P_{total}$ ) consumida pelas lâmpadas num determinado espaço foi calculada com base na expressão:

$$P_{total} (W) = \text{número de lâmpadas} \times \text{potência da lâmpada}$$

Para um determinado espaço, conhecendo o valor da potência das lâmpadas, o número de horas que se encontram ligadas por dia e o número de dias que se encontram ligadas por ano, é possível calcular o consumo anual para cada situação, através da seguinte expressão:

$$\text{Consumo Anual (kWh)} = P_{total} \times \text{número de horas por dia} \times \text{número de dias por ano}$$

Para calcular o custo anual em cada situação, foi considerado que o preço kWh para a instalação é de 0,09€. A expressão utilizada foi a seguinte:

$$\text{Custo Anual (€)} = 0,09€ \times \text{consumo anual}$$

Após o levantamento de todos os dados necessários, estimou-se a energia consumida por parte do sistema de iluminação. Os consumos em iluminação durante um dia útil e não útil foram estimados tendo em conta a potência instalada e o número de horas em operação, para cada tipo de divisão. Estima-se que o consumo de um dia útil, isto é, de segunda-feira a sexta-feira, seja em média, cerca de 322,58 kWh e que o consumo médio a um sábado, seja cerca de 179,43 kWh. Assumindo o número de 22,5 dias úteis e 4,5 sábados para cada mês, obtém-se um consumo anual próximo dos 88,721 MWh.

Tabela 9 - Consumo de energia elétrica do sistema de iluminação

	Pot. Total/dia (kWh)	Pot. Total/sábado (kWh)	Pot. Total/sem (kWh)	Pot. Total/mês (kWh)	Pot. Total/ano (kWh)
<b>Piso 1</b>	44,05	0,00	150,62	991,17	10902,87
<b>Piso 2</b>	88,23	56,54	465,53	2239,52	24634,68
<b>Piso 3</b>	100,93	66,04	570,68	2568,04	28248,47
<b>Piso 4</b>	89,38	56,85	503,74	2266,83	24935,13
<b>Total</b>	<b>322,58</b>	<b>179,43</b>	<b>1690,56</b>	<b>8065,56</b>	<b>88721,15</b>

Com estes dados, é possível reparar que o terceiro piso, é o que mais energia consome em iluminação e o primeiro o que menos energia elétrica consome.

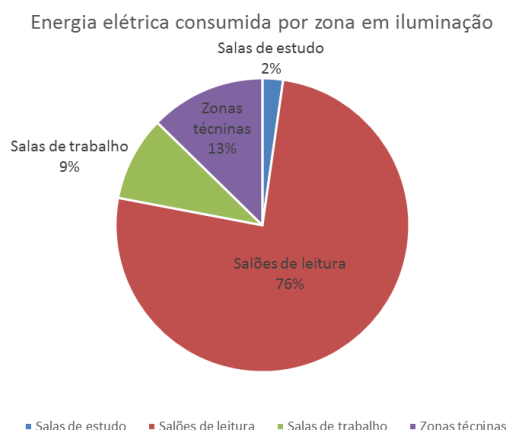


Figura 59 - Energia elétrica consumida por zona em iluminação

Como se pode observar, os salões de leitura são as zonas com maior energia elétrica consumida em iluminação, representando cerca de 76%, uma vez que a iluminação das estantes se encontra ligada durante todo o horário de funcionamento da biblioteca e a potência instalada nas mesmas é bastante considerável. De seguida, surgem as zonas técnicas, tais como, as instalações sanitárias, as zonas de acesso e circulação, balcões de informação e o bengaleiro, representado cerca de 13% da potência consumida em iluminação, sendo utilizada diariamente e de forma quase ininterrupta durante o horário de funcionamento da biblioteca. Por último, as salas de trabalho, destinadas principalmente aos funcionários, e as salas de estudo, representam 9% e 2% respetivamente.

### 3.2.3. Iluminância

Foram efetuados testes de iluminância, com o auxílio de um luxímetro, aos locais com maior relevância no edifício (em termos de perfil de utilização e equipamentos instalados), de maneira a identificar possíveis situações de ineficiência energética. Durante as medições colocou-se sempre o equipamento em locais e posições de acordo com a atividade aí desenvolvida, ou seja, todas as medições foram efetuadas ao nível do plano de trabalho, registando-se várias medições, calculando de seguida o valor médio. As medições foram realizadas perto do meio dia, no dia 13 de outubro, onde o céu se encontrava sem nuvens, e à noite no dia 12 de outubro.

Foram utilizados como referência os valores recomendados pela norma EN 12464 (considera-se o nível de iluminação como “suficiente” sempre que a razão entre o valor de lux medido e o valor de referência como recomendado no local de trabalho seja superior a 0,5). As tabelas dos Anexos 13, 14, 15 e 16 revelam os valores obtidos para cada uma das áreas analisadas para cada piso, em que os mesmos resultam de uma média de valores obtidos para a mesma área em estudo. Existem áreas em que não foi possível retirar os valores de iluminância, uma vez que não existe controlo sobre o funcionamento das lâmpadas (apenas no quadro elétrico). Os valores medidos que estejam fora dos

parâmetros considerados como aceitáveis, seja por excesso ou por defeito, são apresentados, respetivamente, na cor laranja. Já os que têm um nível de iluminação, considerado como suficiente, são apresentados na cor verde.

Tabela 10 - Níveis de iluminância no Piso 1

Zonas - Piso 1	Nível de iluminação com iluminação natural	Nível de iluminação sem iluminação natural
17.1.32 - Depósito e publicações	Suficiente	N/A
17.1.36 - Sala de convívio	Suficiente	N/A
17.1.39 - Sala de restauro	Suficiente	N/A
17.1.30 - Gabinete de administração	Suficiente	N/A
17.1.33 - Arquivo administrativo	Suficiente	N/A
17.1.42 - Sala de leitura informal	Suficiente	N/A
17.1.41 - Sala de formação	Suficiente	N/A
17.1.29 - Gabinete administrativo	Suficiente	N/A
17.1.25 - Gabinete administrativo	Suficiente	N/A
17.1.28 - Sala de trabalho	Suficiente	N/A
Zonas de acesso e circulação (escadas) x 3	Suficiente	N/A
17.1.31 - Sala de reuniões	Insuficiente	N/A
17.1.43 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
17.1.44 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
17.1.45 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
17.1.46 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
17.1.47 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
17.1.50 - Gabinete (sala de estudo individual e de audiovisuais)	Insuficiente	N/A
17.1.51 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
17.1.52 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
17.1.53 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
17.1.54 - Gabinete (sala de estudo individual)	Insuficiente	N/A
Instalações sanitárias masculinas	Insuficiente	N/A
Instalações sanitárias femininas	Insuficiente	N/A

No primeiro piso, através das leituras efetuadas, é possível reparar que todas as zonas apresentam níveis de iluminação suficientes, á exceção das salas de estudo individual e instalações sanitárias.

Tabela 11 - Níveis de iluminância no Piso 2

Zonas - Piso 2	Nível de iluminação com iluminação natural	Nível de iluminação sem iluminação natural
17.2.0 - Biblioteca (estantes)	Suficiente	Suficiente
17.2.19 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	Insuficiente	Insuficiente
17.2.21 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	Insuficiente	Insuficiente
17.2.22 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	Insuficiente	Insuficiente
17.2.0 - Salão de leitura - Bancadas	Suficiente	Suficiente
17.2.14 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.15 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.16 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.17 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.18 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.23 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.24 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.25 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.2.5 - Instalações sanitárias masculinas	Insuficiente	Insuficiente
17.2.6 - Instalações sanitárias femininas	Insuficiente	Insuficiente

No segundo piso, através das leituras efetuadas, é possível reparar que apenas existem níveis de iluminação suficientes no salão de leitura. Todos os restantes espaços (gabinetes de estudo individuais, zonas de circulação e instalações sanitárias), apresentam fracos níveis de luminosidade.

Tabela 12 - Níveis de iluminância no Piso 3

Zonas - Piso 3	Nível de iluminação com iluminação natural	Nível de iluminação sem iluminação natural
Salão de leitura / estantes	Suficiente	Suficiente
Bancadas	Suficiente	Suficiente
17.3.4 - Gabinete de estudo individual	Insuficiente	Insuficiente
17.3.5 - Gabinete de estudo individual	Insuficiente	Insuficiente
17.3.6 - Gabinete de estudo individual	Insuficiente	Insuficiente
17.3.7 - Gabinete de estudo individual	Insuficiente	Insuficiente
17.3.21 - Gabinete de estudo individual	Insuficiente	Insuficiente
17.3.22 - Gabinete de estudo individual	Insuficiente	Insuficiente
17.3.23 - Gabinete de estudo individual	Insuficiente	Insuficiente
17.3.24 - Gabinete de estudo individual	Insuficiente	Insuficiente
17.3.10 - Sala de estudo de grupo	Suficiente	Suficiente
17.3.11 - Sala de estudo de grupo (Partituras)	Insuficiente	Insuficiente
17.3.13 - Sala de estudo de grupo	Insuficiente	Insuficiente
17.3.14 - Sala de estudo de grupo (audiovisual)	Insuficiente	Insuficiente
17.3.15 - Sala de estudo de grupo	Suficiente	Suficiente
17.3.17 - Sala de estudo de grupo	Suficiente	Suficiente
17.3.18 - Sala de estudo de grupo	Suficiente	Suficiente
17.3.19 - Sala de estudo de grupo	Suficiente	Suficiente
17.3.31 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	Insuficiente	Insuficiente
17.3.32 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	Insuficiente	Insuficiente
17.3.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.28 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.29 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.30 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.33 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.34 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.35 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.36 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.37 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.3.8 - Instalações sanitárias femininas	Insuficiente	Insuficiente
17.3.9 - Instalações sanitárias masculinas	Insuficiente	Insuficiente

Já no terceiro piso, para além de existirem condições suficientes de luminosidade no salão de leitura, existem também algumas salas de estudo de grupo que apresentam boas condições de luminosidade devido á área de envidraçados que possuem e á boa exposição solar. Contudo, no caso em que não existe iluminação natural, estas zonas deixam de apresentar níveis de iluminação suficientes.

Tabela 13 - Níveis de Iluminância no Piso 4

Zonas - Piso 4	Nível de iluminação com iluminação natural	Nível de iluminação sem iluminação natural
Salão de leitura/estantes	Suficiente	Suficiente
Bancadas	Suficiente	Suficiente
17.4.17 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	Insuficiente	Insuficiente
17.4.18 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	Insuficiente	Insuficiente
17.4.12 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.4.13 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.4.14 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.4.15 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.4.20 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.4.21 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.4.22 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.4.23 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	Insuficiente	Insuficiente
17.4.4 - Instalações sanitárias femininas	Insuficiente	Insuficiente
17.4.5 - Instalações sanitárias masculinas	Insuficiente	Insuficiente

Relativamente ao quarto piso, conclui-se que apenas o salão de leitura possui nível de iluminação suficiente, pelo que todos os outros restantes espaços como as zonas de circulação, instalações sanitárias e gabinetes de estudo individuais e de audiovisuais não apresentam nível de iluminação suficiente. Contudo, o quarto piso é maioritariamente ocupado pelo salão e leitura, pelo que em termos gerais se considera que o piso apresenta bons níveis de iluminação.CO<sub>2</sub>

Da análise dos valores obtidos é possível verificar que nos gabinetes de estudo individual, em certas salas de estudo de grupo, nas zonas de circulação e nas instalações sanitárias os níveis de iluminação são insuficientes. Somente para os locais na fachada com orientação a Sul ou a Este, as zonas de leitura /estantes/bancadas, algumas salas de estudo de grupo e os gabinetes administrativos, os níveis de iluminação atingem os valores recomendados, devido também á potência instalada nessas áreas. Contudo, nos três pisos em que existem salões de leitura, todos eles cumprem os níveis de iluminação recomendados. Já as salas de estudo individuais apresentam uma grande carência de luminosidade. Um dos grandes fatores é a falta de iluminação natural e a existência de apenas uma lâmpada fluorescente compacta de 8W.

É de notar, que a maior parte do sistema de iluminação existente, nomeadamente nos locais de trabalho, pode estar em fim de vida útil. As luminárias existentes não são as mais eficientes, uma vez que o seu difusor em acrílico opalino inibe a intensidade luminosa emitida, além de acumularem sujidade.

### 3.3. Sistema de Climatização

A caracterização dos sistemas de climatização e ventilação da Biblioteca resultou do levantamento dos dados disponíveis no terreno e junto dos SGTL. Neste sentido, foi consultada a pouca documentação existente e as chapas de características de algumas máquinas. Contudo, devido ao difícil acesso à maioria dos equipamentos e o mau estado das chapas de características, não foi possível recolher muitos dados relativos aos equipamentos. Após uma primeira análise, percebe-se que os processos dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e de ventilação estão associados a processos e sistemas de distribuição e utilização em aparelhos terminais. É possível perceber que a produção de energia se baseia em soluções centralizadas, já que não existe produção de calor e frio simultaneamente e também porque os equipamentos de produção de energia térmica não se encontram nos locais a climatizar, isto é, estão instalados em espaços próprios reservados para o efeito.

A biblioteca dispõe de um sistema de climatização centralizado, um para aquecimento e outro para arrefecimento, pelo que os dois sistemas nunca trabalham em simultâneo. Estes sistemas servem oito unidades de tratamento de ar novo (UTAN), existindo simultaneamente um tratamento do ar a insuflar, permitindo o controlo da qualidade, temperatura e humidade do mesmo. Para além disto, os sistemas servem também todos os radiadores e ventilo-convetores existentes no edifício.

O sistema de climatização é composto pelo sistema aquecimento e arrefecimento, que funcionam de uma maneira muito semelhante. A diferença consiste em utilizar para o aquecimento uma caldeira a gás natural para aquecer a água e para o arrefecimento dois chillers para a produção de água fria. Após o aquecimento ou arrefecimento da água, esta é bombeada através das bombas de circulação para as condutas de água, seguindo para os radiadores (aquecimento), ventilo-convetores (aquecimento ou arrefecimento) e para as UTAN, onde percorre a respetiva serpentina de superfície de troca de calor, aquecendo ou arrefecendo o ar insuflado. Concluídos estes processos, o ar tratado é colocado em circulação nas condutas de ar a fim de servir os espaços do edifício.

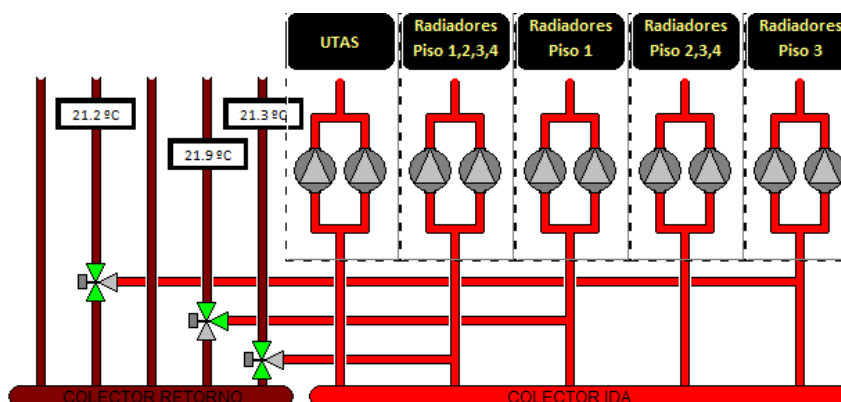


Figura 60 - Coletores do sistema de climatização e eletrobombas de circulação

Já a água, após servir os diversos equipamentos, faz o percurso inverso para ser novamente aquecida ou arrefecida ou então para voltar a servir os mesmos equipamentos. Este processo repete-se sempre que necessário, visto que ambos os sistemas funcionam em ciclo fechado. Isto é possível, monitorizando a temperatura da água no coletor de retorno, e em função dela, determinar se existe a

necessidade de voltar a aquecer ou arrefecer a água direcionando-a para a caldeira ou para o *chiller*, ou então simplesmente bombeá-la novamente para os equipamentos de climatização. O direcionamento da água é assegurado pela electroválvula de três vias, que depende do sinal do sensor de temperatura no coletor de retorno. Este sistema possui a vantagem de diminuir o tempo de funcionamento das caldeiras e dos *chillers* e consequentemente o desgaste dos equipamentos e o consumo dos mesmos.

O sistema de produção de energia térmica no edifício é composto pelos seguintes equipamentos:

- Uma central de produção de frio para arrefecimento, constituída por dois *chillers* do tipo ar-água, instalados no exterior do edifício, que servem a generalidade do edifício;
- Uma central de produção de aquecimento de água que é constituída por duas caldeiras equipadas com queimadores a gás natural.

Relativamente aos equipamentos de distribuição de energia térmica, são apresentadas as características técnicas das bombas de circulação existentes na instalação, que realizam a distribuição de água quente e fria para os sistemas de climatização. Quanto à ventilação do ar, todas as instalações sanitárias são ventiladas através de extração forçada, onde o ar de compensação à extração provém das zonas circundantes climatizadas e espaços de grande volumetria.

Os equipamentos que estão instalados no edifício para tratamento ambiente do ar são do tipo:

- Ventiladores de instalação na parede junto ao chão, nos salões de leitura e em todos os gabinetes de estudo individual;
- Unidades de baixo perfil instalados no teto;
- Unidades de tratamento de ar novo;
- Radiadores

No primeiro piso, em regra, quase todos os espaços possuem radiadores instalados nas paredes com o intuito de manter o conforto térmico dos ocupantes. Estes espaços são essencialmente os corredores, os gabinetes administrativos, salas de reuniões, de trabalho e de formação, e o espaço comum para os funcionários. Para além dos radiadores, estes espaços são também climatizados e tratados pelas UTAN, apresentando módulos de ventilação, filtragem, aquecimento e arrefecimento, sendo estas últimas alimentadas pelas caldeiras de aquecimento e pelos *chillers*, respetivamente. Já os restantes espaços (depósito de publicações e a sala de leitura informal) são climatizados e tratados apenas pelas mesmas UTAN que servem os restantes espaços desse piso. O ar climatizado pelas UTAN nestes espaços é insuflado por grelhas localizadas no teto e o retorno é realizado através de fendas/aberturas no teto.

No segundo piso, a climatização e ventilação é realizada pelas UTAN, que fazem a filtragem e o tratamento térmico da mistura de ar a introduzir no edifício, e por um conjunto de unidades de ventiladores, que aquecem ou arrefecem o ar ambiente. Estes ventiladores encontram-se apenas no salão de leitura, instalados nas paredes junto ao chão e em todos os gabinetes de estudo individuais. O ar insuflado proveniente das UTAN é insuflado da mesma maneira que no primeiro piso, ou seja, por via de grelhas localizadas no teto. Existem também, espalhados pelos

corredores e zonas de circulação, e em todas as salas de estudo de grupo, radiadores para aquecimento do ar ambiente.

O tratamento do ar nos restantes pisos três e quatro, é realizada de maneira muito idêntica aos dois outros pisos. Contudo, no quarto piso, o salão de leitura não possui tratamento de ar proveniente da UTAN, pelo que o ar tratado advém das zonas circundantes (entradas do piso).

Já nas instalações sanitárias a renovação de ar é feita através de um ventilador de extração, para retirar odores e vapores, e pela insuflação de ar proveniente das UTAN. A insuflação e extração do ar realiza-se através de grelhas que estão presentes no teto.

### 3.3.1. Sistema de Gestão Técnica

Para o controlo de alguns parâmetros do sistema de climatização e produção de energia, existe um Sistema de Gestão Técnica (SGT), onde é possível regular alguns parâmetros para obter as condições de funcionamento desejadas. Entre elas, destacam-se:

- valores de temperatura da água nos circuitos de água fria e água quente á entrada e saída dos coletores;
- regulação da temperatura de arranque e paragem das caldeiras;
- estado de funcionamento das caldeiras, dos *chillers* e das eletrobombas;
- regulação dos setpoints de temperatura da água á saída dos *chillers* e das caldeiras;
- horários de funcionamento das caldeiras, *chillers*, eletrobombas e das UTAN;
- regulação das temperaturas de insuflação para cada UTAN e acesso ao consumo global das mesmas;
- valor da temperatura exterior, das temperaturas do ar de insuflação e extração de cada UTAN bem como a percentagem do colmatação dos filtros, o nível de CO<sub>2</sub> presente no ar extraído e a humidade do ar insuflado;
- percentagem de abertura das válvulas de água fria e água quente das unidades de tratamento de ar em modo manual;
- percentagem de abertura do *damper*, para regulação da entrada de ar novo no sistema;
- Visualização do estado de funcionamento dos ventiladores de insuflação e extração das UTAN;
- visualização de alguns tipos de erros e avarias que ocorrem nestes equipamentos.

No sistema de aquecimento, a água é aquecida numa primeira caldeira e começa a circular, encontrando um sensor de temperatura de água, que irá registar a temperatura da água à saída dessa mesma caldeira, juntando-se á água aquecida na segunda caldeira, que passou num outro sensor de temperatura. Contudo, geralmente existe apenas a necessidade de estar uma em funcionamento.

É possível atribuir os setpoints automáticos para o aquecimento da água que é aquecida pelas caldeiras, definindo a temperatura da água para que as caldeiras entrem em funcionamento (temperatura de arranque), e a temperatura máxima da água para que as caldeiras interrompam o seu funcionamento (temperatura de paragem). A temperatura de arranque refere-se á temperatura da água



no coletor de retorno, ou seja, á entrada das caldeiras e a temperatura de paragem é a temperatura da água á saída das caldeiras.



Figura 61 - Configuração dos horários de funcionamento das eletrobombas

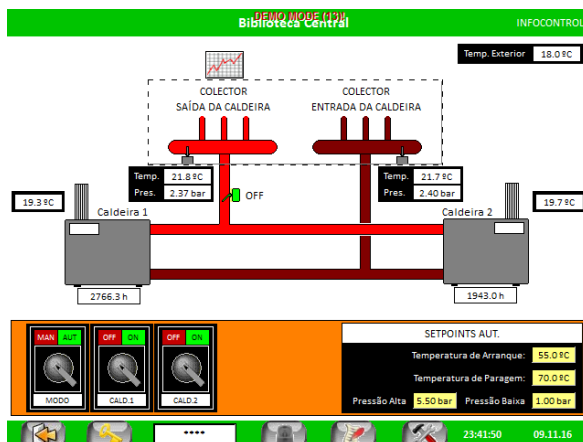


Figura 62 - Sistema de aquecimento no SGT

Em relação ao modo de funcionamento das caldeiras, estas podem funcionar em modo manual, ou seja, é necessário a interação humana, no SGT, para ligar ou desligar as caldeiras, ou então, em modo automático. Este último só é possível, através da parametrização do horário de funcionamento das eletrobombas, uma vez que o funcionamento das caldeiras está diretamente ligado com o funcionamento das eletrobombas. Se estas não estiverem em funcionamento as caldeiras não irão ligar.

A água é então conduzida, por meio de tubagens, até aos radiadores, ventilo convetores e às UTAN de todos os pisos, destinadas ao aquecimento do meio ambiente. Após percorrer todos os equipamentos retorna novamente á central térmica (caldeiras). Recorrendo aos sensores de temperatura, é possível registar o valor de temperatura da água no coletor de retorno. É neste momento que, se a temperatura da água for inferior ao valor estabelecido no setpoint da temperatura de arranque da caldeira, a água é direcionada para as caldeiras, de modo a ser novamente aquecida. Se a temperatura for superior, a água segue para o coletor de ida, para servir novamente os equipamentos.

Todas as eletrobombas são parametrizáveis pelo SGT do que diz respeito ao horário e ao modo de funcionamento das mesmas, podendo trabalhar em modo manual, onde o utilizar decide quais as eletrobombas a funcionar, ou em modo automático. Neste último, o sistema decide em relação a cada grupo de eletrobombas qual a que deverá estar em funcionamento, com base no número de horas de utilização das mesmas. Para além das caldeiras e das eletrobombas, refira-se que o sistema também é composto por electroválvulas de três vias, sondas de temperatura ambiente e sondas de imersão. É através da existência destes elementos que irão ser dadas muitas ordens e será manipulado o sistema para que se possam desencadear as condições desejadas. Conclui-se que todo este processo é iniciado pelo SGT que estará programado para que as eletrobombas a uma determinada hora comecem a funcionar, liderando todo este sistema.

Em relação ao sistema de arrefecimento, o mesmo tem um comportamento muito semelhante ao anterior descrito.

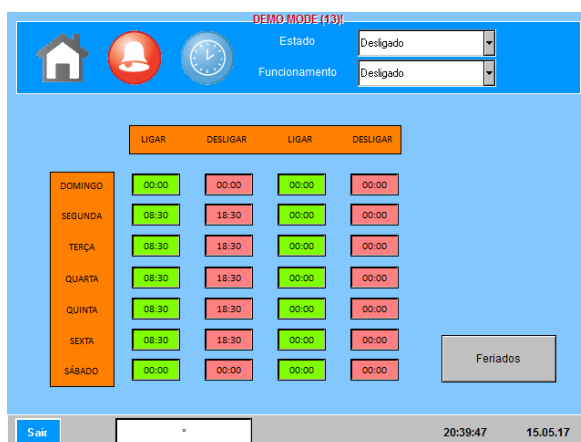


Figura 63 - Configuração do horário de funcionamento dos *chillers*

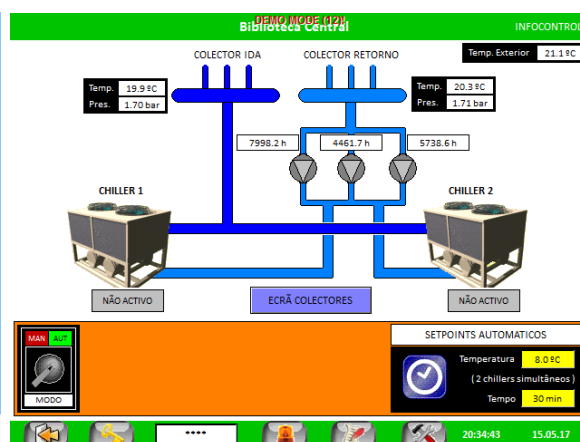


Figura 64 - Sistema de arrefecimento no SGT

O controlo do sistema de arrefecimento é realizado através de um controlo horário no SGT e por um valor de temperatura que pode ser manipulado, para que o sistema comece a atuar. No entanto, neste sistema os *chillers* poderão estar a funcionar, sem que as eletrobombas estejam ligadas, não alcançando, porém, o propósito do sistema de arrefecimento. É então possível estabelecer um setpoint de temperatura desejado para água, fazendo o sistema funcionar de acordo com aquele valor. Do mesmo modo, existe também a possibilidade de introduzir o horário desejado para o funcionamento dos dois *chillers* e o tempo máximo em que os dois *chillers* poderão estar simultaneamente a funcionar. Isto acontece apenas, no início do dia, quando os *chillers* entram em funcionamento (caso seja necessário), ou quando existem grandes picos de temperatura e como tal, poderá existir a necessidade de colocar em operação o segundo *chiller*, de modo a equilibrar a carga térmica. O mesmo acontece com as caldeiras.

No painel, da figura abaixo (Figura 65), é possível também observar as temperaturas da água no coletor de retorno e no coletor de ida, bem como as horas de funcionamento das três eletrobombas. Estas últimas, funcionam alternadamente, e têm como objetivo bombear a água do coletor de retorno para os *chillers* ou então novamente para o coletor de ida a fim de servir as UTAN e os ventilo convetores. Podem operar em modo manual, em que o operador decide qual a bomba ou bombas a ser utilizadas, ou em modo automático, estabelecendo períodos horários de funcionamento.

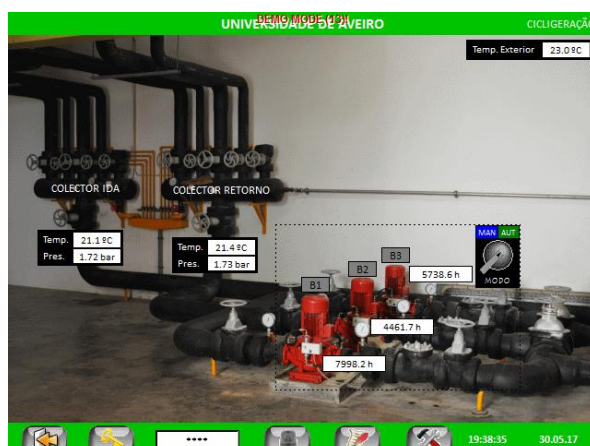


Figura 65 - Coletores do sistema de arrefecimento

No que toca ao arrefecimento realizado por parte dos *chillers*, verificou-se que cada um está associado a três compressores. No painel referente aos *chillers*, é possível ativar ou desativar o seu funcionamento manualmente, ou então escolher o modo automático, estabelecendo horários de funcionamento. Para otimização do consumo dos mesmos, este horário deverá coincidir com o horário de funcionamento das eletrobombas. É possível visualizar a temperatura da água à entrada e saída dos *chillers*, bem como estabelecer o setpoint de temperatura desejado para a água à saída dos mesmos. A par disto, é também possível observar o consumo acumulado de cada um dos *chillers*.

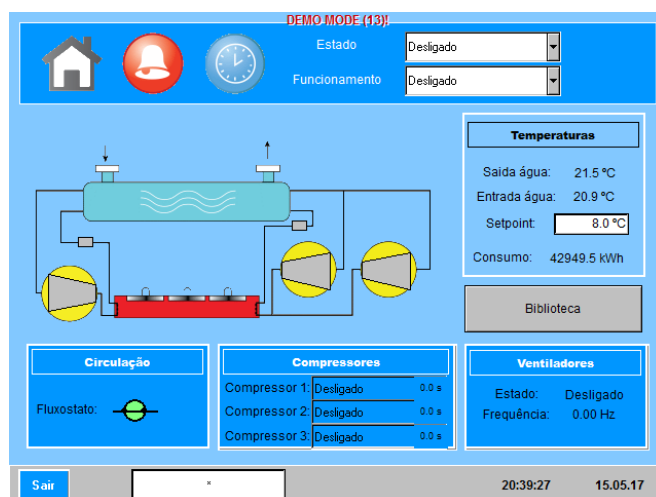


Figura 66 - Configuração do funcionamento do *chiller* no SGT

Este painel possibilita também alterar o estado e alguns parâmetros relativos ao funcionamento dos compressores e dos ventiladores.

Relativamente às UTAN, o sistema permite visualizar e controlar o estado de funcionamento das mesmas. Existem sensores de temperatura, situados no início e no fim de linha de cada UTAN a fim de enviar informação ao sistema relativamente à temperatura de insuflação do ar e da temperatura e

humidade do ar de extração (assume-se como a temperatura e humidade atual desse local). Com base nessas informações, caso seja verificado que em determinado local, o valor de temperatura encontra-se abaixo do valor que foi previamente definido como setpoint de temperatura, a válvula de três vias fechará o *bypass* de forma a aumentar o caudal de água (quente ou fria) nas respetivas baterias de aquecimento ou arrefecimento. Caso contrário, a válvula de três vias abrirá o *bypass* para diminuir o caudal de água quente ou fria. Este processo é conseguido através de uma fórmula programada no controlador cuja saída implica uma atuação na válvula de água quente ou água fria (num intervalo 0% a 100%).

O controlo da velocidade do motor de insuflação é efetuado, através da leitura do valor recebido pelo sensor de pressão de ar colocado no filtro, que por sua vez irá regular a velocidade do ventilador de insuflação e extração. É possível também controlar estes parâmetros, diretamente no SGT, ativando o modo manual. Para além disso, é possível observar o nível de CO<sub>2</sub> presente no ar extraído, bem como o nível de colmatção do filtro. A colmatção dos filtros nas UTAN, traduz-se num aumento da perda de carga no sistema, pelo que será corrigida pela variação de velocidade dos ventiladores, a fim de manter um caudal constante. Em relação á humidade do ar, é possível controlar e definir o nível de humidade relativa do ar a insuflar, através do humidificador.

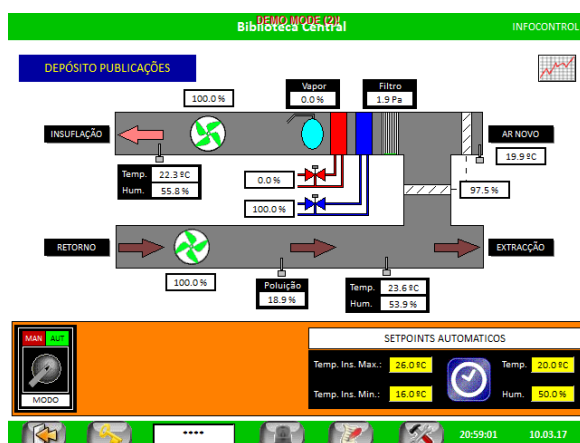


Figura 68 - Configuração do funcionamento da UTAN no SGT

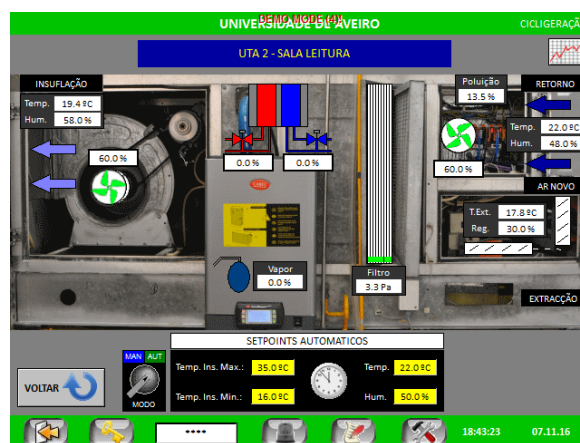


Figura 67 - Componentes da UTAN

Por último, pode-se também definir a percentagem de ar novo a insuflar, em modo manual, sendo que o restante ar a tratar e a insuflar, é proveniente do ar extraído do local, fazendo deste modo um aproveitamento da temperatura do ar extraído. Neste caso, como a temperatura de ar novo (19,9°C) é praticamente igual ao setpoint estabelecido para a temperatura de insuflação, o sistema automaticamente diminui o aproveitamento do ar de retorno, já que a temperatura do ar que está a ser extraído é de 23,6°C, superior ao setpoint estabelecido, insuflando deste modo 97,5% de ar novo. Tal como os restantes equipamentos, é possível configurar o horário de funcionamento das UTAN.

Resumidamente, o sistema controla as seguintes etapas:

- 1) Início – depende do horário pré-definido pelo utilizador.

- 2) Comparação da temperatura do ar de insuflação com o setpoint de temperatura de insuflação do ar – o sistema recebe a temperatura de insuflação do sensor de temperatura e compara com a temperatura de setpoint estabelecida. Se:
- $T_{\text{Insf.}} > T_{\text{Setpoint}}$  - se a temperatura de insuflação é superior á temperatura de setpoint, a válvula de água quente fecha e abre a válvula de água fria até que a temperatura de insuflação seja inferior em apenas 2 °C relativamente a temperatura de setpoint estabelecida. Neste caso, como o sistema de aquecimento (caldeiras) e o sistema de arrefecimento (*chillers*) nunca trabalham em simultâneo, a água fria teria uma temperatura próxima á temperatura ambiente, pois não existiria produção de água fria (se a situação ocorrer nos meses frios, em que só o sistema de aquecimento está em funcionamento).
  - $T_{\text{Insf.}} < T_{\text{Setpoint}}$  - se a temperatura de insuflação é inferior á temperatura de setpoint, a válvula de água quente abre até que a temperatura de insuflação seja superior em 2 °C relativamente à temperatura de setpoint. Tal como no caso anterior, só existirá água quente se a situação ocorrer em meses frios, em que apenas o sistema de aquecimento está ativado. Caso contrário, se apenas o sistema de arrefecimento estiver ligado (meses quentes), a água injetada, encontra-se á temperatura ambiente.

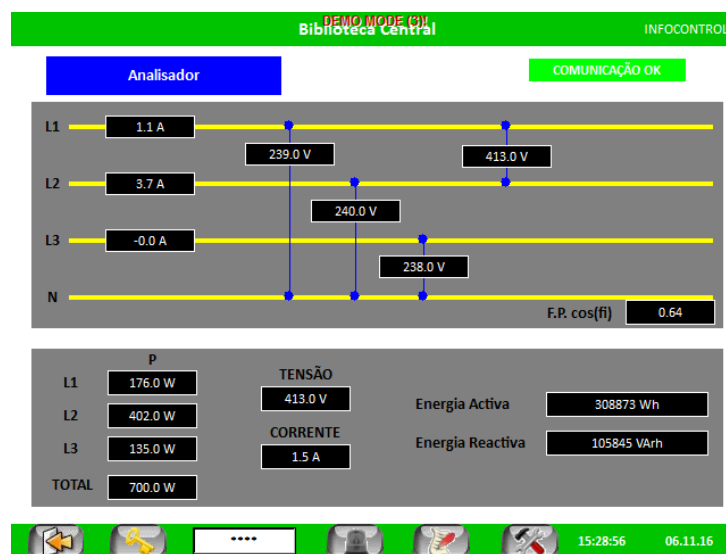


Figura 69 - Analisador de energia do quadro AVAC no SGT

O sistema possui também um painel onde é possível visualizar alguns parâmetros do analisador de energia presente na biblioteca (Figura 69). Contudo, este analisador está ligado ao quadro AVAC onde regista apenas os consumos das UTAN. É possível observar a corrente por fase, a tensão simples e composta, a potência consumida por fase, o fator de potência e por fim a energia ativa e reativa consumida por estes equipamentos. Neste caso, a medição foi feita a um domingo, onde a potência residual é de 700W.

Por fim, existe um campo onde é possível visualizar a temperatura de insuflação por hora do dia, de todas as UTAN presentes no edifício, através de um gráfico ou por extração dos valores para um ficheiro Excel.

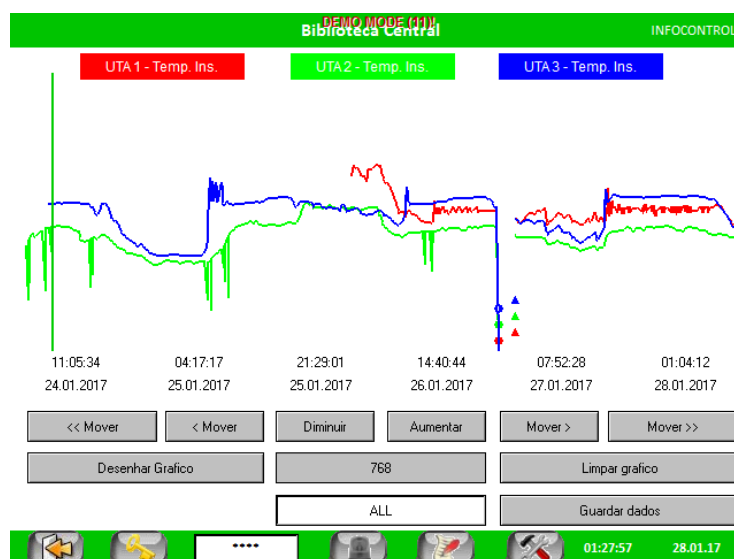


Figura 70 - Gráfico de temperaturas no SGT

### 3.3.2. Sistema de Aquecimento

O sistema de aquecimento é centralizado, constituído por duas caldeiras a gás e dez eletrobombas, onde é aproveitado a anergia proveniente da combustão do gás natural para a produção de calor, que é transferido para um fluido de permuta térmica, neste caso a água, sendo posteriormente encaminhada para uma rede de tubagem de águas, até aos locais equipamentos onde se pretende efetuar o aquecimento. Equipamentos estes, que são as unidades transmissoras de calor (UTAN), radiadores e ventilo convetores que garantem o aquecimento do meio ambiente. Existem sensores de temperatura situados no fim de linha das principais áreas do edifício, que têm a função de enviar informação ao sistema sobre a temperatura do ar de insuflação e extração desses mesmos locais. Consoante a informação recolhida pelos sensores de temperatura, caso seja verificado que em determinado local existe um valor abaixo de um que foi previamente definido ( $23^{\circ}\text{C}$ ), a válvula de três vias fechará o bypass de forma a aumentar o caudal de água quente e se necessário acionar o funcionamento das caldeiras, de modo a aumentar a temperatura da água. Caso contrário, a válvula de três vias abrirá o bypass para diminuir o caudal de água quente. De forma a interligar os circuitos primários e secundários (distribuição), existem coletores de ida e de retorno.

O sistema possui o seguinte funcionamento geral:

- às 08:00hh o sistema liga e deteta, através do sensor de temperatura no coletor de retorno, que a água está a uma temperatura inferior a  $55^{\circ}\text{C}$ , ligando uma caldeira, ou se necessário as duas, para aquecer a água até à temperatura desejada (setpoint de aquecimento  $70^{\circ}\text{C}$ ).
- por meio das bombas de circulação, a água é forçada a circular para o coletor de ida (saída da caldeira) até aos aparelhos terminais.

- após passagem pelos aparelhos, a água retorna para o coletor de retorno, onde dependendo da temperatura da mesma, é reencaminhada novamente para os aparelhos terminais (se a temperatura da água for maior que o setpoint de aquecimento de arranque da caldeira) ou então segue para as caldeiras para ser novamente aquecida até atingir a temperatura de paragem da caldeira (70°C).



Figura 71 - Coletores do sistema de aquecimento

No local onde se encontram instaladas as caldeiras, encontram-se igualmente os seguintes equipamentos:

- Órgãos de regulação e comando;
- Vaso de expansão;
- Purgadores de ar;
- Eletrobombas que servem os circuitos abaixo indicados:
  - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação das UTAN
  - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação dos radiadores de todos os pisos;
  - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação dos radiadores dos pisos 2, 3, 4;
  - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação dos radiadores do piso 1;
  - Alimentação/retorno ao circuito de alimentação dos radiadores do piso 3;
- Coletor de distribuição e coletor de retorno de água quente para os circuitos acima indicados.

Os coletores de distribuição e de retorno de água fria estão localizados na casa das máquinas, onde se encontram também as UTAN.

### **Caldeira a gás natural**

O sistema de climatização para aquecimento é composto por duas caldeiras alimentadas a gás natural proveniente da rede de distribuição. Devido à inexistência da chapa de características e falta de documentação das mesmas, com base na análise dos consumos de gás natural por hora, estima-se que cada caldeira tenha uma potência térmica nominal de aproximadamente 180kW.





Figura 72 - Caldeira a gás natural



Figura 73 - Caldeiras a gás natural em paralelo

Deste modo, tem-se:

<b>Marca</b>	Ferrolli
<b>Modelo</b>	-
<b>Potência Térmica Nominal (kW)</b>	180 kW
<b>Fonte de Energia</b>	Gás natural
<b>Ano de construção</b>	-
<b>Temperatura máxima (°C)</b>	-
<b>Pressão máxima kg/cm<sup>2</sup></b>	-

Relativamente ao queimador, foi possível retirar algumas informações sobre o mesmo:

<b>Marca</b>	Riello
<b>Modelo</b>	Gas 4 516 T1
<b>Potência Nominal (W)</b>	540
<b>Fonte de Energia</b>	Energia elétrica
<b>Tensão de alimentação (V)</b>	220
<b>Frequência (Hz)</b>	100
<b>Potência de aquecimento (kW)</b>	180 - 470



Figura 74 - Queimador de gás natural

### Grupo eletrobombas

Tal como dito anteriormente, a circulação da água aquecida é assegurada por via de 10 eletrobombas. Estas, encontram-se em grupos de dois, funcionando em paralelo, garantindo deste modo redundância ao sistema. Pode-se identificar pela figura abaixo, cinco grupos de eletrobombas instaladas na casa das caldeiras. Estas eletrobombas atuam diretamente no coletor de ida, ou seja, à saída da caldeira.





Figura 75 - Eletrobombas de circulação do sistema de aquecimento

As eletrobombas possuem as seguintes características técnicas:

Tabela 14 - Características das eletrobombas do sistema de aquecimento

Equipamento	Fabricante	Modelo	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kW)	Qtd.	Potência total (kW)
Bomba 1.1 e Bomba 1.2	Nocchi	Majmar RMC 50-60	380	1,1	0,425	2	0,85
Bomba 2.1 e Bomba 2.2	Nocchi	Majmar R4C 40-30	380	0,7	0,2	2	0,4
Bomba 3.1 e Bomba 3.2	Nocchi	Majmar R4C/RMC 50-60	380	1,1	0,425	2	0,85
Bomba 4.1 e Bomba 4.2	Nocchi	Majmar RMC 50-60	380	1,1	0,425	2	0,85
Bomba 5.1 e Bomba 5.2	Nocchi	Majmar RMC 50-60	230	1,94	0,39	2	0,78

### 3.3.3. Sistema de Arrefecimento

O sistema de climatização para arrefecimento é composto por dois chillers alimentados por energia elétrica do tipo ar exterior-água. A climatização pelo sistema de arrefecimento é destinada a todas as zonas fornecidas pelas UTAN e pelos ventilo convetores.

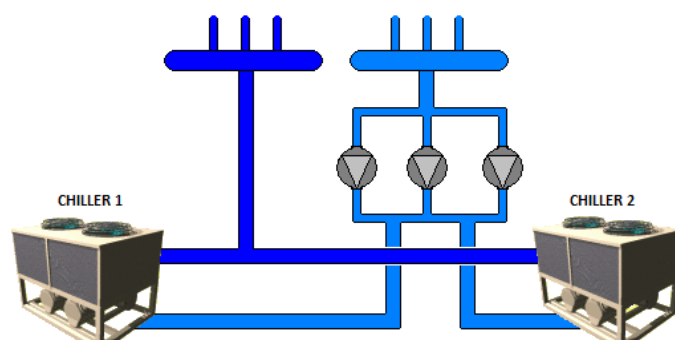


Figura 76 - Sistema de arrefecimento no SGT

Este sistema tem o mesmo princípio de funcionamento do sistema de aquecimento, ou seja, possui a capacidade de trabalhar em circuito fechado. Isto significa que, dependendo da temperatura da água no coletor de retorno, esta será encaminhada para os *chillers* para ser novamente arrefecida, ou então é reenviada diretamente para o coletor de ida para voltar a servir os equipamentos. Atualmente, se a temperatura no coletor de retorno for superior a 8 °C (setpoint), a água é direcionada para os *chillers* para ser novamente arrefecida. Caso contrário, se for inferior, a água é bombeada, seguindo diretamente para o coletor de ida. Isto possui a vantagem de diminuir o tempo de funcionamento dos *chillers* e consequente desgaste dos equipamentos e também os consumos. A rede da água fria é impulsionada por via de três bombas de circulação.

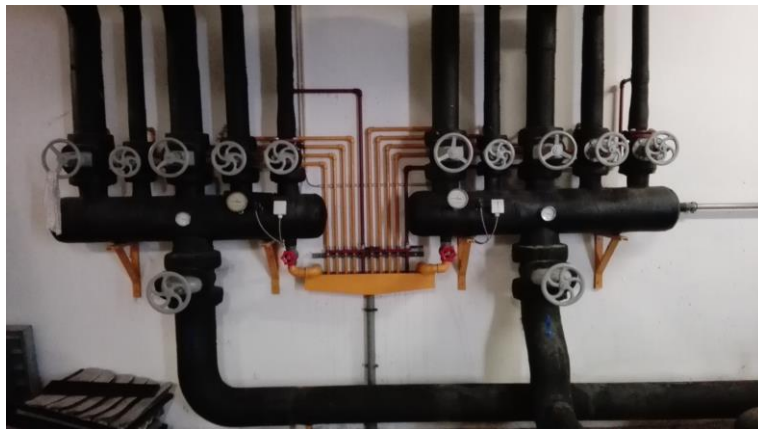


Figura 77 - Coletores do sistema de arrefecimento

### **Chillers de compressão ou elétricos**

O sistema de climatização a frio é composto por dois *chillers* alimentados a energia elétrica. Não foi possível recolher as características técnicas destes equipamentos devido às mesmas dificuldades encontradas com as caldeiras. Está configurado no SGT que estes dois equipamentos apenas poderão trabalhar em simultâneo durante 30 minutos. Cada *chiller* possui 3 compressores, cada um com 250kW de potência nominal.



Figura 78 - *Chillers* instalados no exterior do edifício

### **Grupo eletrobombas**

Como referido anteriormente, a circulação da água fria é assegurada por via de três eletrobombas. Estas, encontram-se a funcionar paralelamente, garantindo deste modo redundância ao sistema. Quando o sistema de arrefecimento está a funcionar, todas as eletrobombas também estão a funcionar. Pode-se identificar pela figura abaixo, estes equipamentos instalados na casa das máquinas, atuando diretamente no coletor de retorno, ou seja, á entrada dos *chillers*.



Figura 79 - Eletrobombas do sistema de arrefecimento

#### **3.3.4. Unidades de tratamento de ar novo (UTAN)**

Existem no edifício, oito UTAN da marca FAST, modelo FM42, associadas ao sistema de climatização. As UTAN possuem aparelhos de medição de temperatura, humidade e CO<sub>2</sub> nas vias de insuflação e retorno, tendo ainda, ventiladores de insuflação e extração de ar, humidificadores a fim de regular a humidade do ar insuflado, filtros de ar, dois permutadores de calor (baterias de aquecimento e arrefecimento a água) e também uma câmara de mistura para o ar novo e o ar extraído (retorno).

As UTAN presentes no edifício têm por função o tratamento, a climatização e a distribuição de ar numa ou várias zonas do edifício. A unidade insufla (distribui) o ar mediante as necessidades identificadas, operando nele os tratamentos necessários ao conforto térmico e à qualidade do ar nos vários espaços, sendo estes a filtração, o aquecimento ou arrefecimento e a humedificação. O ar é aquecido através da permuta de calor proveniente da água que é aquecida recorrendo ao apoio da caldeira. No caso de se querer arrefecer o ar, este é feito através dos chillers, produzindo água fria. A distribuição do ar novo tratado pela UTAN é feita através de uma rede de condutas, terminando em grelhas/difusores de insuflação.

É importante voltar a referir que a água que circula nas tubagens, destinadas ao aquecimento ou arrefecimento, circula sempre em circuito fechado, isto é, as caldeiras ou os chillers só são acionados, se a temperatura da água no coletor de retorno foi inferior a um limite estabelecido pelo utilizador

no sistema de monitorização de energia. Isto faz com que os mesmos, não estejam em constante funcionamento, reduzindo bastante o seu tempo de operação.

Existem dois tipos de UTAN a funcionar na biblioteca da UA: uma do tipo unidade de via simples, servindo apenas a Oficina de impressão e encadernação, e as restantes do tipo via dupla. Contudo, assume-se que são todas do tipo via dupla.

Apresentam-se as principais características destes equipamentos:

<b>Marca</b>	FAST
<b>Modelo</b>	FM42
<b>Caudal de ar de insuflação (m<sup>3</sup>/h)</b>	4200
<b>Caudal de ar de extração (m<sup>3</sup>/h)</b>	4200
<b>Potência do ventilador de insuflação (kW)</b>	1,7
<b>Potência do ventilador de extração (kW)</b>	1

Após várias inspeções ao local, conseguiu-se perceber quais as zonas que são servidas por cada UTAN, sendo, no entanto, descritas com pouca precisão, pelo que existem determinadas zonas que se desconhecem as unidades que as estão a servir. No primeiro piso, apenas são tratadas as zonas com maior necessidade, sendo estas o depósito de publicações e a sala de trabalho dos funcionários pela UTAN3, e a sala de leitura informal e zonas circundantes como a sala de formação pela UTAN7. Os gabinetes de estudo têm duas pequenas grelhas localizadas no teto para insuflação e extração de ar.

No segundo piso, a UTAN4 serve a sala de exposições, o hall de entrada e o bengaleiro. A UTAN1 serve apenas a oficina de encadernação e impressão e as zonas circundantes. Já o salão de leitura e o balcão de informações são servidos pela UTAN6. Os gabinetes de estudo têm também pequenas grelhas localizadas no teto para insuflação e extração de ar.

Relativamente ao terceiro piso, apenas as zonas do salão de leitura, do balcão de informações e os gabinetes de estudo individuais são tratadas pela UTAN2.

Por último, no quarto piso, a UTAN8 alimenta a sala de fundos especiais, a sala *American Corner* e as restantes zonas circundantes. Neste piso, não existem nenhuma grelhas de insuflação e extração de ar na zona do salão de estudo, pelo que o ar tratado é proveniente da UTAN5 que serve a zonas do balcão de informações e das zonas de entrada para o piso.

Segue abaixo uma tabela, descrevendo as zonas tratadas pelas unidades de tratamento de ar novo. O nome das zonas provém das designações no SGT.

Tabela 15 - Zonas climatizadas pelas respetivas UTAN

UTAN	Piso	Zona
UTA1	Piso 2	Oficina de encadernação e impressão
UTA2	Piso 3	Sala de leitura
UTA3	Piso 1	Depósito e publicações
UTA4	Piso 2	Sala de exposições
UTA5	Piso 4	Balcão de informações
UTA6	Piso 2	Balcão de informações e salão de leitura
UTA7	Piso 1	Zona de leitura informal
UTA8	Piso 4	Sala de fundos especiais

### 3.3.5. Unidades terminais de aquecimento, arrefecimento e ventilação

No edifício, as unidades terminais existentes são do tipo ventilo convetores, com módulo de filtragem, ventilação e bateria de aquecimento/arrefecimento, radiadores a água, grelhas de insuflação de ar e as aberturas nos tetos para extração do ar. Existem ainda ventiladores de extração responsáveis pela extração de ar das instalações sanitárias em todos os pisos. Os ventilo convetores (Figura 80) estão presentes na zona dos salões de leitura e em todos os gabinetes de estudo individuais.



Figura 80 - Ventilo convetor instalado num dos salões de leitura



Figura 81 - Regulação do ventilo convetor

Já os radiadores encontram-se nos corredores e zonas de circulação, nos gabinetes administrativos do primeiro piso e em todas as salas de estudo de grupo do edifício. Estas últimas apresentam maiores dimensões.



Figura 83 - Radiador instalado numa sala de estudo de grupo



Figura 82 - Radiador instalado na zona de circulação

Para insuflação do ar, utilizam-se grelhas/difusores instalados no teto e nas paredes. Estas grelhas (Figura 85), encontram-se nos salões de leitura e nos gabinetes de estudo individuais.



Figura 84 - Insuflação de ar através dos difusores na zona sul



Figura 85 - Insuflação de ar através de grelhas

Já o sistema utilizado na Figura 84, é aplicado apenas nas zonas dos balcões de informação, sala de exposições, hall de entrada, bengaleiro e na zona sul e norte dos salões de leitura.

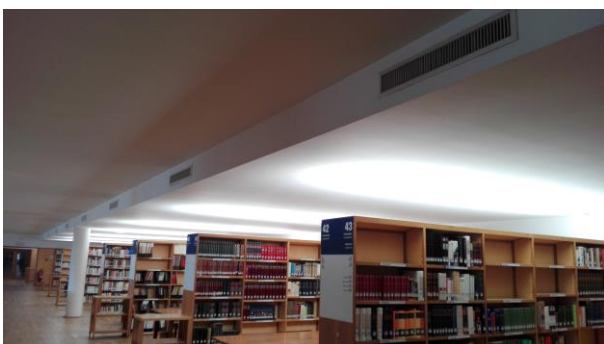


Figura 86 - Insuflação de ar através de grelhas nos salões de leitura

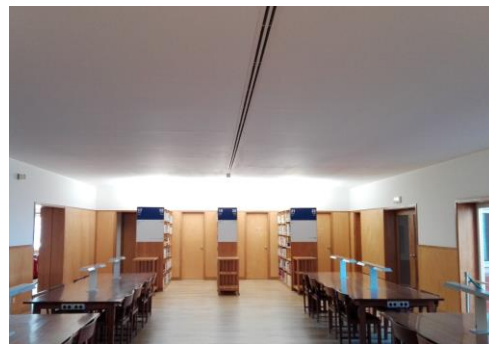


Figura 87 - Insuflação de ar através dos difusores na zona norte

Para extração do ar viciado são utilizados ventiladores de extração. Nos salões de leitura e maioritariamente quase todas as zonas do edifício a extração do ar é realizada por vida de orifícios no teto (Figura 89). Nas instalações sanitárias, têm a forma representada na Figura 88. Já nos



gabinetes individuais são utilizadas duas pequenas grelhas instaladas no teto para insuflação e extração do ar (Figura 90).



Figura 90 - Extração de ar nos salões de leitura



Figura 89 - Insuflação de ar nos gabinetes de estudo individual



Figura 88 - Extração de ar nas I.S.

### 3.3.6. Consumo do sistema de Climatização

Através do SGT, foi possível retirar o consumo de energia elétrica dos principais equipamentos consumidores do sistema AVAC, sendo estes:

- UTAN
- Sistema de aquecimento
- Sistema de arrefecimento

Contudo, o analisador não contabiliza os consumos dos equipamentos de quente e frio, pelo que foram calculados separadamente. Não estão incluídos os consumos dos ventilo convetores uma vez que são ligados e desligados manualmente nos quadros elétricos de cada piso, consoante a sensibilidade dos funcionários. Considerou-se que os equipamentos do sistema de arrefecimento atuam durante três meses e os do sistema de aquecimento durante 5 meses (meses os quais existiram consumos de gás natural), restando 3 meses, considerados como mês de férias (agosto) e os restantes dois meses, onde não são utilizados quaisquer sistemas (arrefecimento ou aquecimento), considerando-se apenas o consumo das UTAN.

Para perceber e recolher as variações de consumo destes equipamentos, foi necessário aceder ao SGT todos os dias, a fim de recolher os dados necessários. Com este processo, foi possível construir o seguinte gráfico, referente à variação do consumo dos equipamentos referenciados mais acima, durante todo o mês de março de 2017. Uma vez que o analisador de energia do quadro AVAC não contabiliza a energia consumida quando os *chillers* estão ativos (provavelmente um erro de programação), não se registaram valores para os meses de arrefecimento e também por falta de disponibilidade.



Figura 91 - Evolução do consumo de energia elétrica no quadro AVAC no mês de março

Foram também recolhidos os consumos referentes aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2017. Os consumos são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 16 - Energia elétrica consumida de janeiro a março de 2017

Mês	Energia consumida (kWh)
Janeiro	2211
Fevereiro	2574
Março	2817

Os consumos acima referem-se tipicamente aos meses de Inverno, contabilizando neste caso apenas os consumos das UTAN. Não se consegue ter certeza se os consumos dos queimadores das caldeiras e das eletrobombas são contabilizados, pelo que não são considerados no consumo apresentado no analisador do SGT. Contudo, com base nos valores acima registados, considera-se uma média de 2534 kWh de energia consumida mensalmente referente às UTAN. As razões para os consumos nos meses de março serem superiores aos de janeiro e fevereiro, podem-se prender com as condições climatéricas exteriores, a velocidade dos motores de insuflação e extração, e pelo facto destes aparelhos terem estado a funcionar até às 22:00h sem explicação aparente.

Considerando a média do consumo destes três meses, estima-se que anualmente exista um consumo com as UTAN de 27874kWh.

Tabela 17 - Energia elétrica consumida pelas UTAN

Equipamento	Energia consumida/mês (kWh)	Energia consumida/ano (kWh)
UTAN	2534	27874



Pode-se também estimar com base nos mesmos dados e na potência das eletrobombas associadas ao sistema de aquecimento, que o conjunto das mesmas consome aproximadamente 585kW mensalmente, se funcionarem 13h por dia, como estava programado originalmente no SGT. Anualmente, apresenta um consumo de aproximadamente 4563kWh, admitindo que as quatro eletrobombas de 400W que servem os radiadores e ventilo convetores funcionam durante 5 meses (uma vez que por definição, o sistema de aquecimento trabalha de novembro a março e uma bomba de 400W a funcionar durante onze meses servindo as UTAN).

Tabela 18 - Consumo de energia elétrica das eletrobombas do sistema de aquecimento

Equipamento	Energia consumida/mês (kWh)	Energia consumida/ano (kWh)
Eletrobombas (aquec.)	630,00	3150,00

Conclui-se que durante os 5 meses de aquecimento (novembro a março), existe uma energia consumida por parte do sistema de aquecimento de aproximadamente 16639kWh.

Tabela 19 - Energia elétrica consumida pelos equipamentos do sistema de aquecimento

Equipamento	Energia consumida/mês (kWh)	Energia consumida/ano (kWh)
UTAN	2534,00	12670,00
Eletrobombas (aquec.)	630,00	3150,00
Queimador + motor	163,8	819
<b>Total</b>	<b>3327,80</b>	<b>16639,00</b>

Relativamente aos meses de Verão, através do SGT, registou-se alguns valores dos consumos acumulados durante os meses de maio, junho e julho no separador dos *chillers*, onde é possível visualizar a energia consumida por *chiller*. Contudo, este consumo é contabilizado de forma acumulada, pelo que também existe alguma incerteza sobre quais os equipamentos que refletem este consumo. É importante referir que nos valores abaixo, não estão contabilizados os consumos das eletrobombas do sistema de arrefecimento.

Tabela 20 - Consumo de energia elétrica dos *chillers*

Período	Chiller 1 (kWh)	Chiller 2 (kWh)	Total (kWh)
22-05-17 a 22-06-17	2792,7	950,1	3742,8
23-06-17 a 23-07-17	2369,2	1794,9	4164,1

Com base nesta informação, pode-se estimar o consumo por dia e por hora num dia útil. É importante referir que estes valores são estimados, podendo variar significativamente, consoante as necessidades diárias de arrefecimento, que dependem sobretudo das condições de temperatura exterior e da carga térmica do edifício. Considerando então 22,5 dias úteis, com 10 horas de funcionamento por dia, estima-se que o consumo por hora dos *chillers* será cerca de 17,57kWh.

Tabela 21 - Consumo de energia elétrica dos *chillers* por mês, dia e hora

Equipamento	Horas/dia	Energia consumida/mês (kWh)	Energia consumida/dia (kWh)	Energia consumida/hora (kWh)
Chillers	10	3953,45	175,71	17,57

Uma vez que o sistema está configurado para funcionar apenas nos meses de maio, junho e julho e considerando que o consumo por mês é a média dos consumos dos dois meses registados, o consumo anual associado a estes dois equipamentos será cerca de 11860,35 kWh.

Tabela 22 - Energia elétrica consumida pelos *chillers* durante os três meses de funcionamento

Equipamento	Energia consumida/mês (kWh)	Energia consumida/ano (kWh)
Chillers	3953,45	11860,35

Adicionalmente, estima-se que as eletrobombas do sistema de arrefecimento consomem aproximadamente 2025kWh por mês, sendo que funcionam apenas três meses por ano, pelo que consomem 6075 kWh por ano.

Tabela 23 - Consumo de energia elétrica das eletrobombas do sistema de arrefecimento

Equipamento	Energia consumida/mês (kWh)	Energia consumida/ano (kWh)
Eletrobombas (arref.)	2025,00	6075,00

Posto isto, conclui-se que durante os 3 meses de arrefecimento (maio, junho, julho), existe uma energia consumida relativamente ao sistema de arrefecimento de aproximadamente 25537,80 kWh.

Tabela 24 - Consumo de energia elétrica dos equipamentos do sistema de arrefecimento

Equipamento	Energia consumida/mês (kWh)	Energia consumida/ano (kWh)
UTAN	2534,00	7602,00
Chillers	3953,45	11860,35
Eletrobombas (arref.)	2025,00	6075,00
<b>Total</b>	<b>8512,45</b>	<b>25537,35</b>

Por fim, torna-se possível estimar o consumo global anual do sistema de climatização durante os onze meses de funcionamento, que será aproximadamente 48959,25 kWh de energia elétrica.

Tabela 25 - Consumo global de energia elétrica associado ao sistema de climatização

Equipamento	Energia consumida/mês (kWh)	Energia consumida/ano (kWh)
UTAN	2534,00	27874,00
Chillers	3953,45	11860,35
Eletrobombas (arref.)	2025,00	6075,00
Eletrobombas (aquec.)	630,00	3150,00
Queimador + motor	163,8	819
<b>Total</b>	<b>9306,25</b>	<b>48959,35</b>

### 3.4. Outros aparelhos elétricos

Na biblioteca, o uso de computadores é uma prática bastante comum. Incluídos neste grupo estão os computadores fixos (de secretária), computadores portáteis e ainda duas máquinas de vending.

Estima-se que existam por dia uma média de 80 computadores portáteis ligados e 65 computadores fixos espalhados por todos os pisos do edifício. Contudo, para estes últimos admite-se que 20 computadores estão destinados aos funcionários durante o seu horário de trabalho, estando ligados 9 horas por dia de segunda-feira a sexta-feira e outros 15 computadores disponíveis para uso geral dos utilizadores da biblioteca, estando ligados durante todo o horário de funcionamento da mesma, ou seja, 13 horas por dia de segunda-feira a sexta-feira e 9 horas ao sábado. Já os restantes 20 computadores estão maioritariamente dispostos pelas salas de audiovisuais, gabinetes e salas de formação, em que se assume que não existe qualquer utilização destes equipamentos.

Relativamente aos computadores portáteis, estima-se que existam em média 80 unidades, funcionando 6,5 horas por dia de segunda-feira a sexta-feira, e 4,5 horas ao sábado.

As máquinas de vending encontram-se ligadas durante todo o horário de funcionamento da biblioteca.

Como em todas as análises realizadas neste trabalho, admite-se 22,5 dias úteis e 4,5 dias não úteis (sábado) por mês.

Tabela 26 - Perfis de utilização dos equipamentos eletrónicos

Aparelhos	Potência (W)	Quantidade	Horário	Taxa de utilização	Nr. Horas/dia	Nr. Horas/fds
Computador fixo (geral)	320	15	09:00 - 22:00h	100%	13	9
Computador fixo (func.)	320	20	09:00 - 18:00h	100%	9	0
Computador fixo	320	20	09:00 - 22:00h	0%	-	-
Computador portátil	107	80	09:00 - 22:00h	50%	6,5	4,5
Máquinas de vending	1800	2	09:00 - 22:00h	100%	13	9

Tabela 27 - Consumo de energia elétrica dos aparelhos eletrônicos

<b>Aparelhos</b>	<b>Consumo/dia (kWh)</b>	<b>Consumo/semana (kWh)</b>	<b>Consumo/mês (kWh)</b>	<b>Consumo/ano (kWh)</b>
Computador fixo (geral)	62,40	355,20	1598,40	17582,40
Computador fixo (func.)	57,60	288,00	1296,00	14256,00
Computador portátil	69,55	395,90	1781,55	15677,64
Máquinas de vending	46,80	266,40	1198,80	13186,80
<b>Total</b>	<b>236,35</b>	<b>1305,50</b>	<b>5874,75</b>	<b>60702,84</b>

Após levantamento da informação, estima-se que exista um consumo de 236,35 kWh por dia, 5874,75,35kWh por mês e 60,702 MWh por ano de energia elétrica nestes aparelhos.

Os carregadores de telemóvel são também bastante utilizados pelos utilizadores da biblioteca, pelo que também podem representar um acréscimo consumo de energia elétrica apresentado.

As potências apresentadas foram retiradas de ASHRAE Handbook- Fundamentals, 2009.

### 3.5. Análise energética da biblioteca

O edifício em análise conta com energia elétrica e gás natural como principais vetores de energia primária. A eletricidade é utilizada principalmente na iluminação, climatização e nos equipamentos enquanto o gás natural é aplicado essencialmente no sistema de aquecimento do edifício. Todos os valores de consumos apresentados, correspondem aos valores enviados pelo datalogger da biblioteca. Tal foi possível, com a autorização dos sTIC da UA. O datalogger regista os consumos por hora de eletricidade e gás natural. Os valores da tabela seguinte, referem-se ao ano de 2017. Admitiu-se o custo médio de 0,09€/kWh para a energia elétrica e 0,0498€/kWh para o gás natural. O fator de conversão utilizado para a energia elétrica em tep é de 0,000215, de acordo com os fatores publicados no Despacho n.º 17313/2008, de 26 de junho.

Tabela 28 - Análise energética global em 2016

Fonte de energia	Consumo anual (kWh)	Emissões de CO2 (kg/ano)	Consumo de energia (tep)	Custo (€)
Energia Elétrica	252638	90,95	54,32	22737,42
Gás Natural	96663	19,53	7,01	4813,83
Total	349301	110,48	61,33	27551,25

Da análise dos dados, as fontes de energia utilizadas no edifício são: energia elétrica com uma representatividade de 72% e gás natural com uma representatividade de 28%, apresentando um consumo energético global de 349 391 kWh com um custo de 27 551,25 €.

Custo anual - 2016

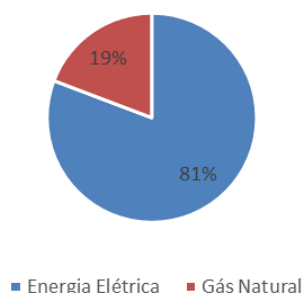


Figura 92 - Custos com energia em 2016

Consumo anual - 2016

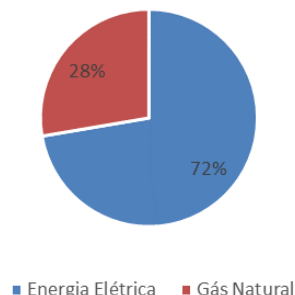


Figura 93 - Consumo energético em 2016

Já em 2017, houve um decréscimo considerável no consumo de energia elétrica, mantendo-se, no entanto, idêntico o consumo de gás natural.

Custo anual - 2017

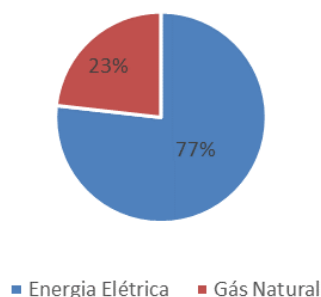


Figura 95 - Custos com energia em 2017

Consumo anual - 2017

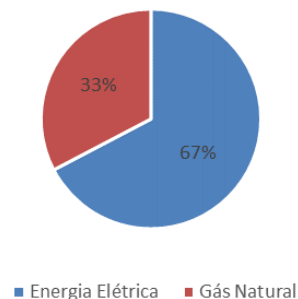


Figura 94 - Consumo energético em 2017

Comparando o ano de 2017 ao ano transato, conclui-se que a energia elétrica passou de uma representação no consumo energético global do edifício de 72% para 67%, enquanto que o gás natural no ano de 2016 representou 28% passando para 33% no ano de 2017. Em 2017 o edifício apresentou um consumo energético global de 296 615 kWh com um custo global de 23 438,80 €.

Tabela 29 - Análise energética global em 2017

Fonte de energia	Consumo anual (kWh)	Emissões de CO2 (kg/ano)	Consumo de energia (tep)	Custo (€)
<b>Energia Elétrica</b>	199666	71,88	42,93	18610,76
<b>Gás Natural</b>	96949	19,58	7,03	4828,07
<b>Total</b>	296615	91,46	49,96	23438,83

### 3.5.1. Análise dos consumos globais de energia

Com base nos consumos dos últimos quatro anos, o edifício consome em média, cerca de 214 MWh de energia elétrica e 98 MWh de gás natural por ano, o que representa uma utilização de energia primária de 54 tep/ano. A utilização desta energia primária, que resulta da utilização de energia elétrica e gás natural, representa um encargo financeiro anual médio de, aproximadamente, 24 140€/ano, correspondente a 19 260€/ano de energia elétrica e 4880€/ano de gás natural, admitindo que os preços da energia elétrica e gás natural se mantiveram constantes nos últimos quatro anos.

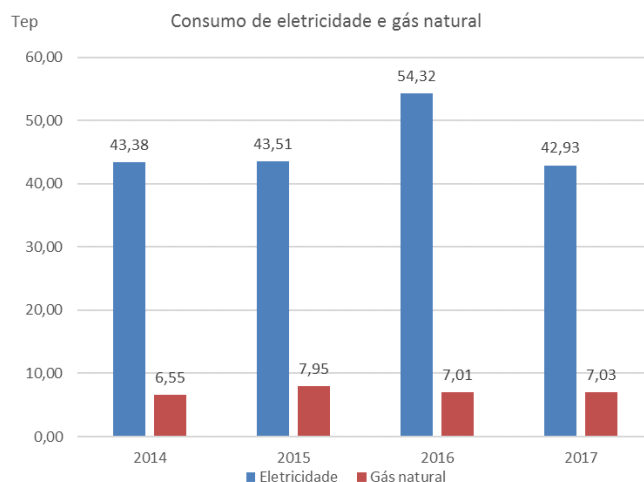


Figura 96 - Consumo de eletricidade e gás natural no edifício

Da análise ao gráfico de evolução dos consumos de energia elétrica e gás natural, verifica-se um consumo relativamente constante ao longo dos últimos quatro anos, dando-se, no entanto, um aumento significativo dos consumos globais de 2015 para 2016 e uma redução á mesma escala de 2016 para 2017. O consumo de energia elétrica aumentou em 10,80 tep em relação ao ano de 2015, ou seja, consumiu mais 50251 kWh, enquanto o gás natural manteve um consumo estável ao longo dos quatro anos. Já em 2017, o consumo de energia elétrica diminui consideravelmente, igualando os valores registados antes de 2016, notando-se uma redução de 52972 kWh, ou 11,39 tep.

Consumo de Energia Primária (tep)

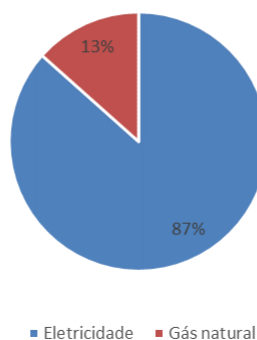


Figura 97 - Média do consumo de Energia Primária nos últimos quatro anos

Em termos de energia primária, a energia elétrica detém a maior parcela, representando 90% e o gás natural apenas 10%, com base nos últimos quatro anos em análise.

Com base na análise dos consumos energéticos do edifício, relativamente ao ano de 2016, o consumo de energia elétrica foi de 252 638 kWh, ou seja, 54,32tep. Em relação ao gás natural, consumiu-se 8551m<sup>3</sup>, ou 96663kWh, ou seja, 7,01tep, representando cerca de 9% dos consumos energéticos do edifício.

Consumo de energia final em 2016

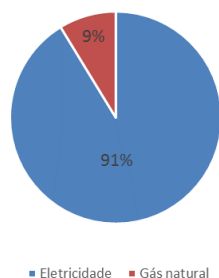


Figura 98 - Consumo de energia final em 2016

Consumo de energia final em 2017

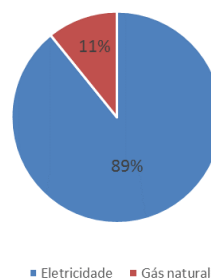


Figura 99 - Consumo de energia final em 2017

Já em 2017, existiu uma redução significativa do consumo de energia elétrica, consumindo-se cerca de 199 666 kWh, 42,93tep, aumentado ligeiramente, no entanto, o consumo de gás natural para 8576 kWh, 7,03tep.

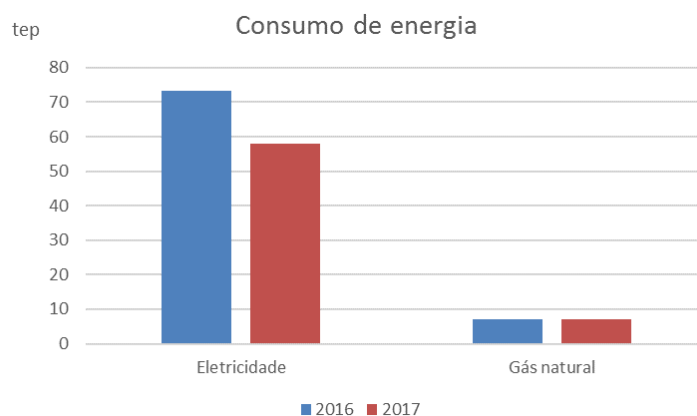


Figura 100 - Consumo de energia em 2016 e 2017

O custo energético total em 2016 foi de 32603€, sendo que o consumo da eletricidade foi o principal responsável por esse custo, representando 85% do custo verificado.

O consumo energético varia bastante ao longo do ano, verificando-se que os picos de consumo ocorrem durante os meses mais frios, desde Outubro até março, com maiores necessidades de iluminação e aquecimento, e durante os meses mais quentes, maio a julho, com maiores necessidades de arrefecimento e também devido ao fato de incluir um mês de preparação e realização de exames, atraindo um grande fluxo de estudantes à biblioteca e consequentemente um aumento da carga térmica e do consumo de energia elétrica com os equipamentos utilizados. Os meses de março e julho foram os meses com maior consumo energético. Em março, deveu-se principalmente ao fato de se ter consumido muito gás natural para colmatar as necessidades de aquecimento. Já no mês de julho, registou-se um elevado consumo de energia elétrica, uma vez que a utilização do edifício é significativamente maior e também para colmatar as necessidades de arrefecimento do edifício. É importante voltar a salientar que entre 12 de junho a 15 de julho a biblioteca encontra-se aberta



durante mais uma hora, devido à época de exames, encerrando às 23:00h. O mesmo acontece no mês de 9 de janeiro a 8 de fevereiro.

Como era de se esperar o mês de agosto foi o mês com menor consumo, correspondendo ao período de férias escolares, em que a biblioteca se encontra encerrada ao público.

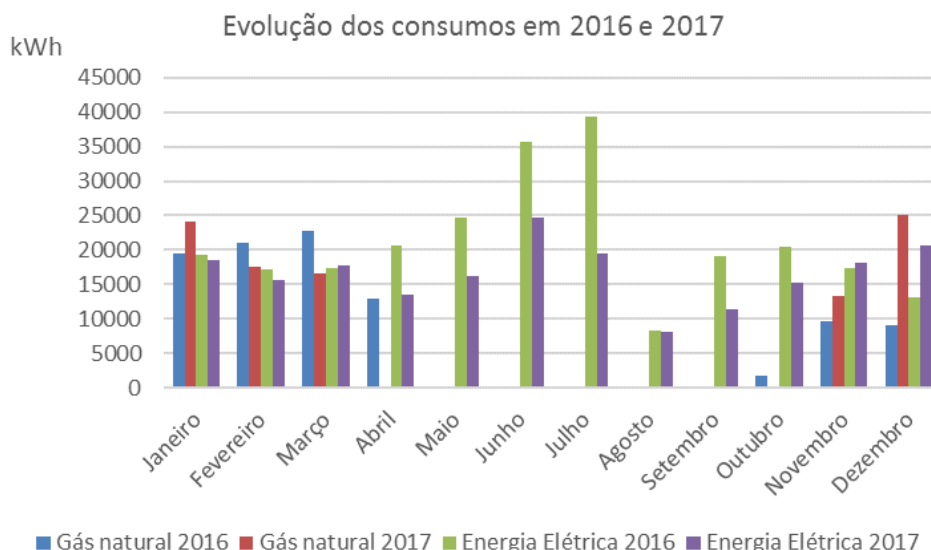


Figura 101 - Evolução dos consumos em 2016 e 2017

O consumo de energia reativa não foi analisado neste trabalho.

### 3.5.1.1. Desagregação dos consumos

Dado que existe apenas um contador elétrico para todo o edifício não existe informação desagregada de consumos para as diferentes zonas e para os diferentes sistemas.

Torna-se então essencial conhecer as percentagens de consumo de energia elétrica de cada setor consumidor para ter conhecimento sobre onde se está a consumir mais energia para posteriormente identificar soluções para a sua redução. Com base na média do consumo de energia elétrica dos últimos quatro anos (2014-2017) e no cálculo do consumo estimado para os setores de iluminação e equipamentos, definiu-se o consumo do sistema AVAC como a diferença entre o consumo médio anual (excluindo o mês de agosto) e o consumo dos setores de iluminação e equipamentos. Contudo, conseguiu-se de certa forma, estimar o consumo do sistema AVAC, através da caracterização e dos perfis energéticos dos equipamentos consumidores, concluindo-se que os valores não diferem significativamente entre si. Para além disso, o quadro onde estão ligados os equipamentos destinados ao AVAC, possui um contador de energia, onde foram também retirados valores referentes ao consumo por mês. Contudo, durante os meses de Verão, quando o sistema de arrefecimento está ligado, o contador não é capaz de medir corretamente os consumos, pelo que se torna mais difícil o cálculo do consumo global do sistema AVAC. Contudo, foi possível registar o consumo acumulado referente aos *chillers* separadamente no SGT.

#### Desagregação do consumo de energia elétrica

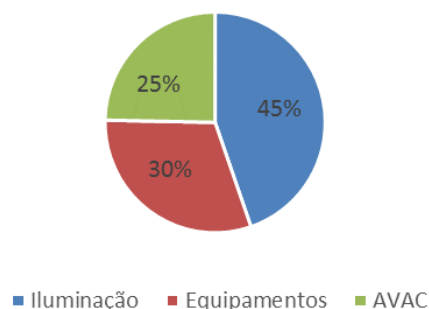


Figura 102 - Desagregação do consumo de energia elétrica por setor

Como é possível constatar, a maior parte de energia elétrica é utilizada no sector de iluminação (45%) que engloba todos os equipamentos de iluminação no edifício. O setor dos equipamentos apresenta-se como segundo maior consumidor (30%), onde foram contabilizados os computadores de secretária, portáteis e as máquinas de *vending*. Por último está o setor de climatização (25%), uma vez que a fonte de energia principal neste sistema é o gás natural. A energia elétrica utilizada neste sistema destina-se principalmente aos componentes das UTAN, eletrobombas, *chillers* e o queimador de gás natural das caldeiras.

Tabela 30 - Consumo de energia elétrica anual por setor

Sector	Consumo de energia elétrica/ano (kWh)
Iluminação	88721,15
Equipamentos	60702,84
AVAC	48959,35
<b>Total</b>	<b>198383,34</b>

Os valores apresentados referem-se a consumos anuais. Se compararmos com a média do consumo de energia elétrica dos últimos quatro anos, existe uma diferença de 7% face aos consumos que foram previstos e desagregados. Esta diferença irá certamente justificar os consumos dos restantes equipamentos que não foram considerados para a estimativa e desagregação dos consumos de energia elétrica (ex. elevadores, impressoras, carregadores de telemóvel equipamentos de cozinha presentes na sala de convívio dos funcionários, temperatura extremas, ocupações elevadas, entre outros).

Tabela 31 - Consumos de energia elétrica dos últimos quatro anos

	2014	2015	2016	2017	Média
Consumo de energia elétrica (kWh/ano)	201755	202387	252638	199666	<b>214112</b>

A desagregação do consumo por utilização final torna-se muito importante para uma gestão energética eficiente do edifício, identificando onde se está a consumir muita energia, podendo-se estabelecer com essa informação um plano de ação, atribuindo prioridades de intervenção para o sector que apresenta maior consumo.

### 3.5.2. Consumo de energia elétrica

De modo a caracterizar detalhadamente os consumos de energia elétrica, foi analisado com maior detalhe os anos de 2016 e 2017 por se considerarem os anos mais representativos da situação atual, já que as características internas do edifício mudam ao longo do tempo, tal como o número de utilizadores do edifício.

Tabela 32 - Consumo mensal e anual de energia elétrica dos últimos quatro anos

<b>Mês</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Janeiro	20764	20047	19241	18641
Fevereiro	15394	17501	17177	15575
Março	17750	19371	17332	17819
Abril	16619	17551	20626	13603
Maio	17850	18695	24730	16220
Junho	17528	22470	35703	24615
Julho	16355	17689	39333	19553
Agosto	9552	5487	8346	8233
Setembro	16104	11767	19092	11426
Outubro	19478	17530	20528	15276
Novembro	18642	17911	17376	18123
Dezembro	15719	16368	13154	20582
<b>Total</b>	<b>201755</b>	<b>202387</b>	<b>252638</b>	<b>199666</b>

Como referido anteriormente, o consumo de energia elétrica tem-se mantido constante, apesar de ter existido um acréscimo do consumo no ano de 2016. Uma justificação seria o aumento do fluxo de estudantes na biblioteca, traduzindo-se num aumento dos consumos por parte dos equipamentos e também para colmatar a elevada carga térmica no interior do edifício com o uso dos sistemas de climatização. Para além disso, o ano de 2016 foi considerado o ano mais quente de sempre, principalmente nos meses de verão, refletindo-se nos consumos de energia elétrica. Comparando com os outros anos, nota-se que foi nos meses de maio, junho, julho e setembro que existiram grandes disparos de consumo de energia, apresentando-se como causa provável a maior necessidade de arrefecimento do edifício, conduzindo a um aumento do consumo de energia associado ao sistema de climatização. Já no ano de 2017 os níveis de consumo, reduziram para valores consonantes com os dos anos anteriores a 2016.

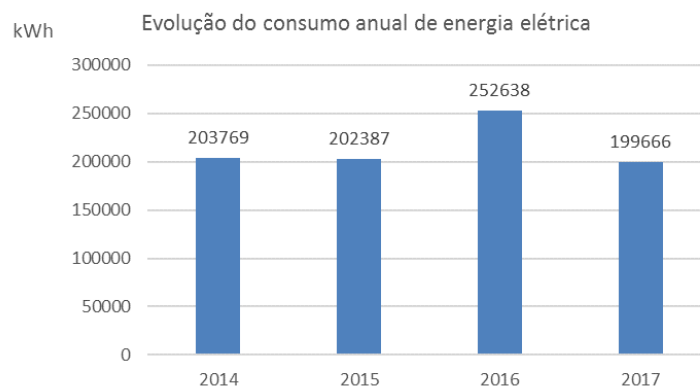


Figura 103 - Evolução do consumo anual de energia elétrica

Na distribuição mensal dos consumos de energia elétrica pode-se verificar que em regra, os menores valores de consumo energético situam-se nos meses de fevereiro, agosto, setembro, novembro e dezembro. Fevereiro corresponde ao mês de fim de época de exames e o início do segundo semestre, verificando-se deste modo uma reduzida afluência ao edifício. O mês de agosto corresponde ao período de encerramento da biblioteca. O mês de setembro, justifica-se pelo início do período de aulas apenas começando a meados do mês, registando-se também pouca afluência ao edifício. Por fim, o mês de dezembro, corresponde ao período em que a biblioteca encerra durante alguns dias para férias de Natal.

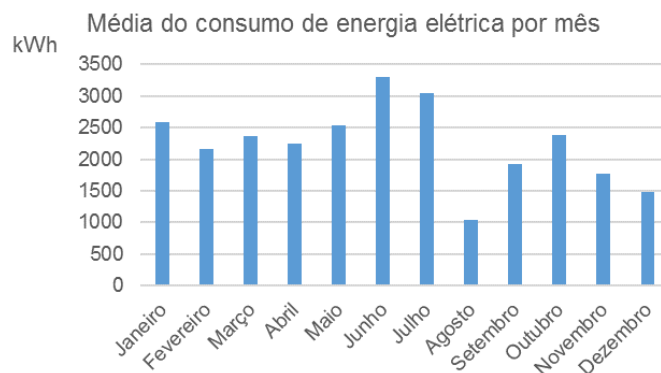


Figura 104 - Média do consumo mensal de energia elétrica nos últimos quatro anos

Já os maiores consumos de energia elétrica, registaram-se nos meses de janeiro e principalmente junho e julho, correspondentes aos meses de preparação de exames, e consequente aumento do fluxo de estudantes ao edifício. Por outro lado, é o período em que as necessidades de arrefecimento e aquecimento (no caso do mês de janeiro) são maiores, pelo que o sistema de climatização é outro grande responsável pelo grande consumo de eletricidade neste período.

Verifica-se um consumo médio de 7904 kWh no período de férias (mês de agosto) correspondendo a aproximadamente metade e até um terço do consumo no período de aulas.

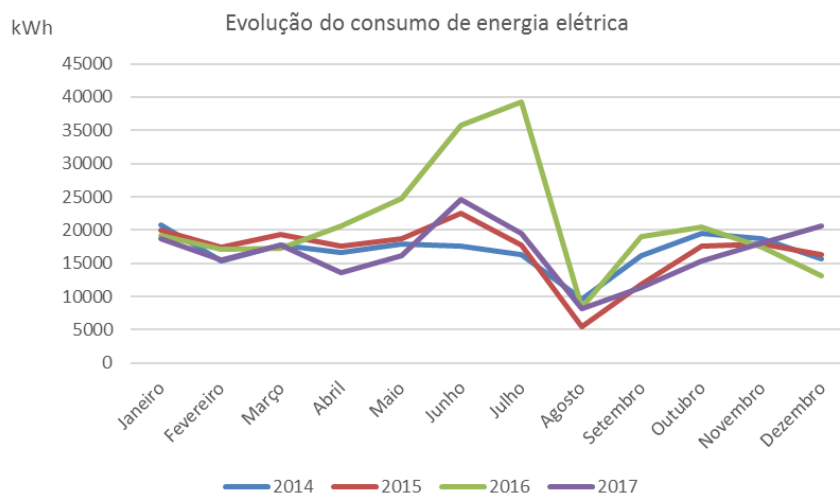


Figura 105 - Evolução do consumo de energia elétrica por mês nos últimos quatro anos

Como é possível observar, as necessidades de energia elétrica variam ao longo do ano, verificando-se o respetivo carácter sazonal, com maior impacto nos meses mais quentes, correspondendo ao período com maiores necessidades de climatização e de grande fluxo de estudantes na biblioteca.

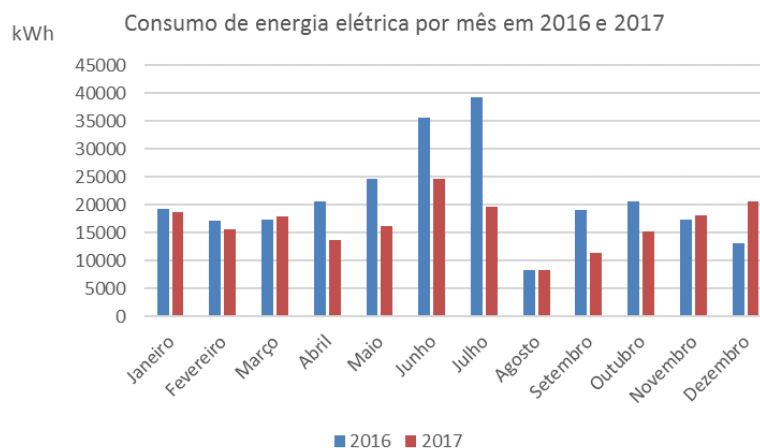


Figura 106 - Consumo de energia elétrica por mês em 2016 e 2017

### 3.5.2.1. Diagramas de Carga

Os diagramas de carga são naturalmente influenciados pelas diferentes estações do ano e consoante as mesmas, poderão surgir diferentes padrões no consumo de energia elétrica. Contudo, existem outros fatores que podem influenciar o padrão do diagrama de carga, tal como o dia de semana ou o fim-de-semana, que refletem diferentes níveis de consumo de energia elétrica. Posto isto, é expetável que o consumo de um dia de semana seja superior ao de um dia de fim-de-semana, uma vez que o consumo num dia útil é superior ao consumo registado aos sábados. De seguida, são apresentados os dois tipos de padrão nas duas épocas do ano em estudo (verão e inverno), onde será possível verificar as diferenças entre os consumos de energia elétrica.

Foram considerados os seguintes horizontes temporais:

- Semana de inverno de 9 de janeiro a 15 de janeiro de 2017;
- Semana de verão de 10 de julho a 16 de julho de 2017;
- Duas semanas de inverno de 2 de janeiro a 15 de janeiro de 2017;
- Duas semanas de verão de 3 de julho a 16 de julho de 2017;

#### Estação de Verão

Para um dia típico de Verão, calculou-se a média do consumo de energia elétrica por hora entre os dias 07-07-2017 e 16-07-2017, última semana antes de começar as férias de Verão. Este período coincide também com a época de avaliação, ou seja, o horário da biblioteca é estendido até às 23:00h.

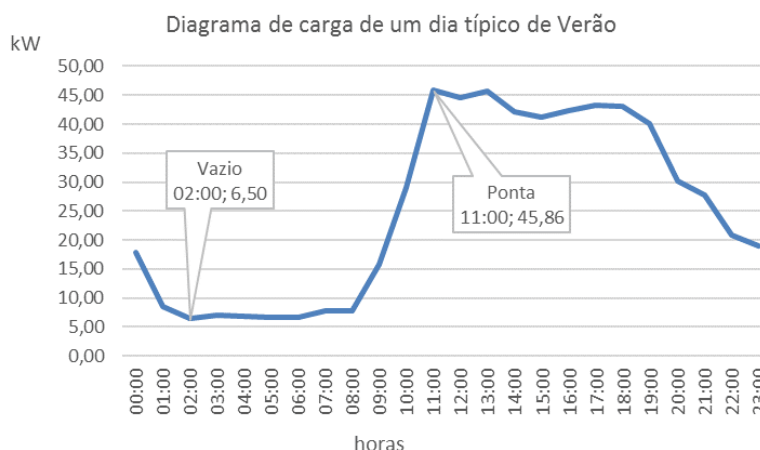


Figura 107 - Diagrama de carga típico de um dia de Verão

Com base no gráfico acima (Figura 107), é possível verificar que o período de funcionamento do edifício é entre as 09:00 horas e as 23:00 horas e também a potência de pico e a *base line* de consumo elétrico do edifício, tendo-se verificado um valor de aproximadamente 45,86 kW para a potência de pico e uma potência média *base line* de 7,25 kW. Nota-se que o pico de consumo ocorre entre as 11:00h e as 13:00h. Já entre as 23:00h e as 08:00h o consumo estabiliza para valores

reduzidos, uma vez que a biblioteca encontra-se encerrada nesse período. Pela análise do gráfico, é possível verificar que o período de vazio, horário no qual ocorre o menor consumo de energia e onde o preço da energia elétrica assume valores mais baixo, ocorre entre as 01:00 horas e as 08:00 horas, sendo que o ponto de vazio ocorre às 02:00 horas. O ponto de ponta, ponto no qual se encontra o maior pico do consumo de energia e onde se assume também o preço mais elevado de energia elétrica, ocorre pelas 11:00 horas.

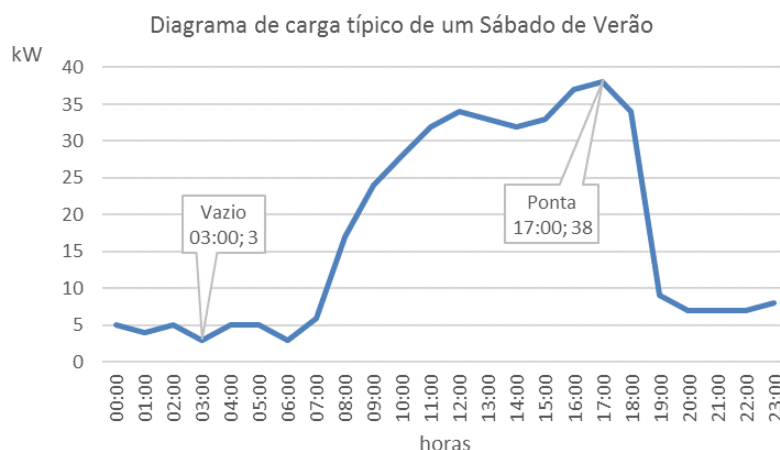


Figura 108 - Diagrama de carga típico de um Sábado de Verão

Para um dia de fim-de-semana de verão, ou seja, um Sábado, 07-07-2017, nota-se uma diferença no consumo de energia elétrica, revelando níveis ligeiramente inferiores. Contudo, os períodos de cheia ocorrem entre 09:00h e as 16:00h, pelo que atinge o seu pico de consumo às 17:00h, considerado já como período de vazio normal. Com base no gráfico acima (Figura 108) é possível verificar que o período de funcionamento do edifício é entre as 09:00 h e as 18:00h (horário de fim-de-semana) e também a potência de pico e a *base line* de consumo elétrico do edifício, tendo-se verificado um valor de aproximadamente 38 kW para potência de pico e uma potência média de *base line* de 5,7 kW. O menor consumo pode-se justificar pelo sistema de climatização que não se encontra a funcionar aos fins de semana, a menor afluência das pessoas ao edifício e também pela não ocupação dos funcionários da biblioteca no primeiro piso, encontrando-se todos os equipamentos desligados.

Como se pode verificar pelo gráfico abaixo (Figura 109), existe uma rotina no padrão do consumo energético numa semana de Verão, 10-07-2017 a 16-07-2017. Apresentam-se os gráficos de consumo de uma semana e o gráfico para o consumo de duas semanas na estação de Verão a fim de demonstrar a existência de uma tendência no consumo de energia elétrica do edifício nos vários dias da semana.

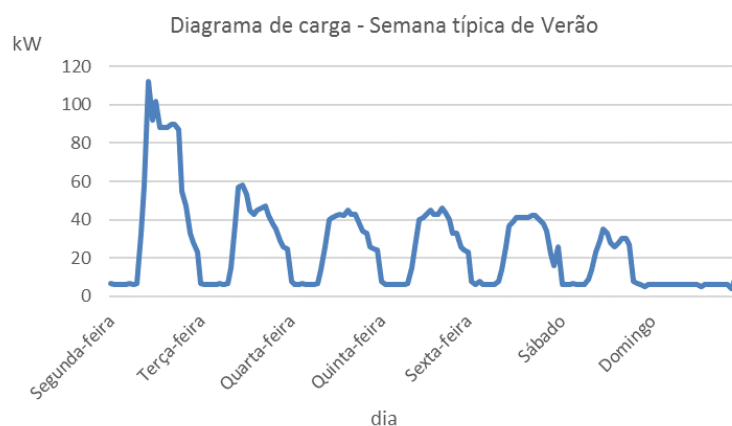


Figura 109 - Diagrama de carga de uma semana típica de Verão

Com estes dados, é possível observar que o consumo durante os dias úteis mantém-se nos seus valores típicos e seguindo quase sempre a mesma tendência. Neste caso, por lapso do Gestor de Energia, deve ter sido acionado o modo manual, pelo que alguns equipamentos como os equipamentos de produção de energia térmica (frio) e respetivas bombas de circulação ficaram a funcionar ininterruptamente durante três dias seguidos. O consumo elevado registado na segunda-feira, pode-se justificar pela necessidade do sistema de aquecimento em equilibrar a temperatura no interior do edifício, uma vez que este esteve sábado e domingo sem nenhum equipamento de aquecimento ligado.

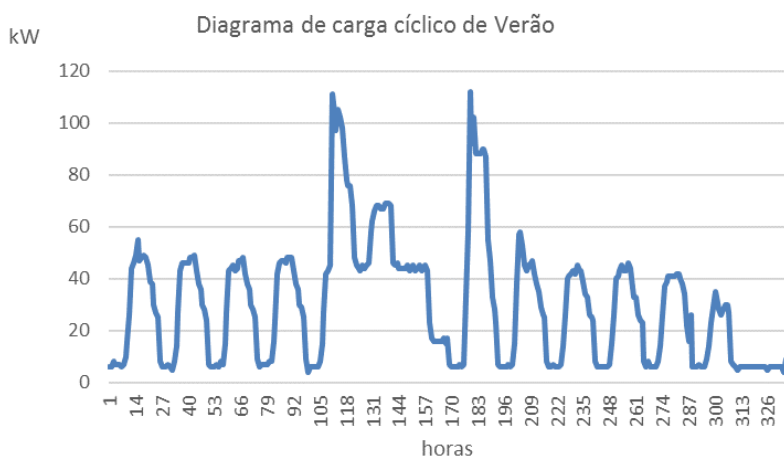


Figura 110 - Diagrama de carga cíclico de Verão

### Estação de Inverno

Para um dia típico de Inverno, calculou-se a média do consumo de energia elétrica por hora entre os dias 09-01-2017 a 15-01-2017. Este período também coincide com a época de exames, ou seja, o horário da biblioteca é estendido até às 23:00h.



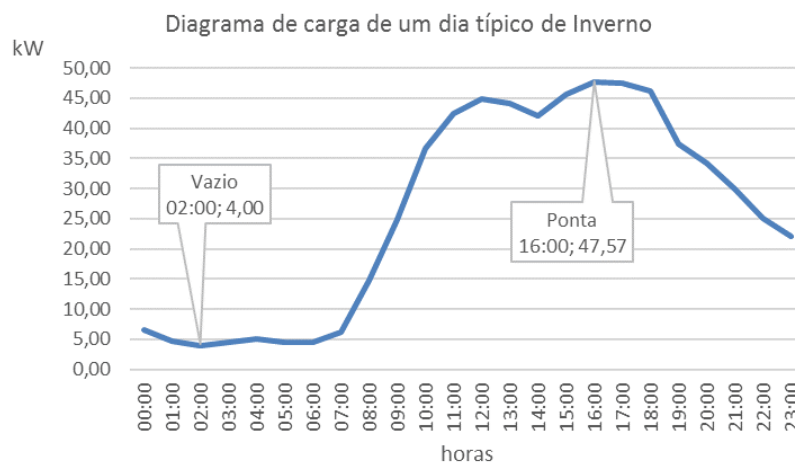


Figura 111 - Diagrama de carga de um dia típico de Inverno

Com base no gráfico acima (Figura 111), é possível verificar que o período de funcionamento do edifício é entre as 09:00 horas e as 23:00 horas e também a potência de pico e a *base line* de consumo elétrico do edifício, tendo-se verificado um valor de aproximadamente 47,57 kW para potência de pico e uma potência média de *base line* de 5 kW. Nota-se que existe um pico de consumo que ocorre entre as 11:00h e as 18:00h, reduzindo ligeiramente entre as 13:00h e as 14:00h, hora de almoço. Já entre as 23:00h e as 08:00h o consumo estabiliza para valores reduzidos, uma vez que a biblioteca se encontra fechada nesse período. Pela análise do gráfico acima (Figura 111), verifica-se que para um dia útil de verão o período de vazio localiza-se entre as 23:00 horas e as 07:00 horas, enquanto que o período de ponta ocorre entre as 11:00 e as 18:00h. Contudo, este período de ponta coincide em apenas uma hora com o tarifário de ponta, isso é, entre as 11:00h e as 12:00h. No outro período em que se cobra tarifa de ponta (18:30h – 21:00h), nota-se um decréscimo acentuado do consumo até às 23:00h onde começar a estabilizar para valores mínimos.

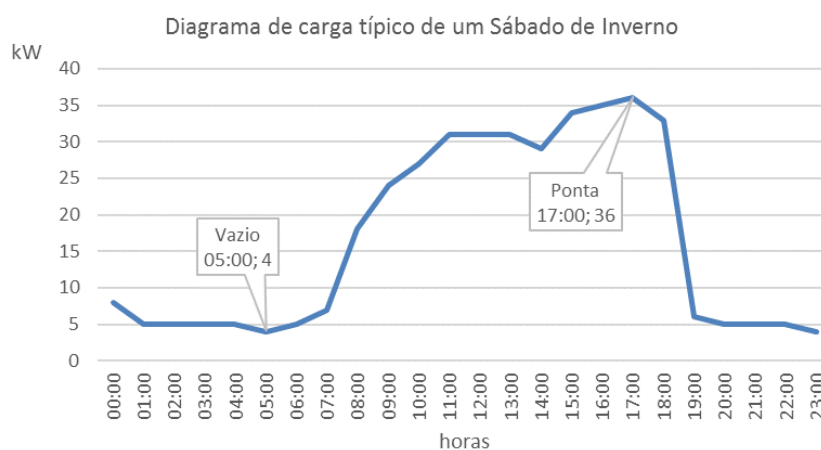


Figura 112 - Diagrama de carga típico de um Sábado de Inverno

Para um dia não útil, ou seja, a um Sábado de Inverno, dia 14-01-2017, a energia consumida é em média 20kWh inferior, durante o período de operação de um dia útil. Pode-se justificar pelo sistema de AVAC que não se encontra a funcionar aos fins de semana, a menor afluência ao edifício e também pela não ocupação dos funcionários da biblioteca no primeiro piso, encontrando-se todos os equipamentos desligados.

Com base no gráfico acima (Figura 111), é possível verificar que o período de funcionamento do edifício é entre as 09:00 horas e as 18:00 horas e também a potência de pico e a base line de consumo elétrico do edifício, tendo-se verificado um valor de aproximadamente 36 kW para potência de pico e uma potência média de *base line* de 5,3 kW. Nota-se que o pico de consumo ocorre entre as 15:00h e as 18:00h. Já entre as 23:00h e as 08:00h, o consumo estabiliza para valores reduzidos, uma vez que a biblioteca está encerrada nesse período. De notar que, face ao gráfico da Figura 108, existem semelhanças no padrão do diagrama de carga, contudo, com valores ligeiramente mais baixos e com deslocações da ponta e do vazio, ou seja, o valor mais elevado ocorreu uma hora mais tarde, às 17:00h, e o valor mais baixo também uma hora mais tarde, às 05:00h.

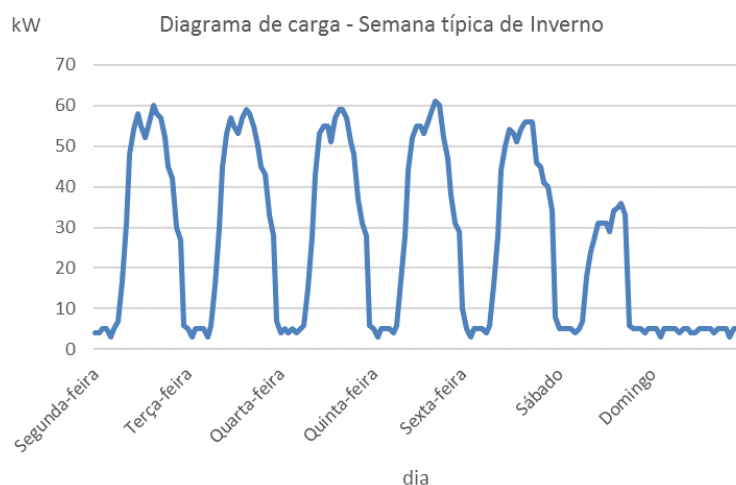


Figura 113 - Diagrama de carga de uma semana típica de Inverno

Da mesma forma que se verificou que o padrão do diagrama de carga de Verão se repetia consoante o dia da semana, verifica-se que o mesmo acontece no Inverno, podendo ser observado nos gráficos da Figuras 113 e Figura 114, para uma semana e duas semanas na estação de Inverno respetivamente.

Verifica-se que durante os dias úteis, mantêm-se os valores de consumo de energia elétrica mais elevados seguindo sempre a mesma tendência, enquanto que aos Sábados o consumo diminui.

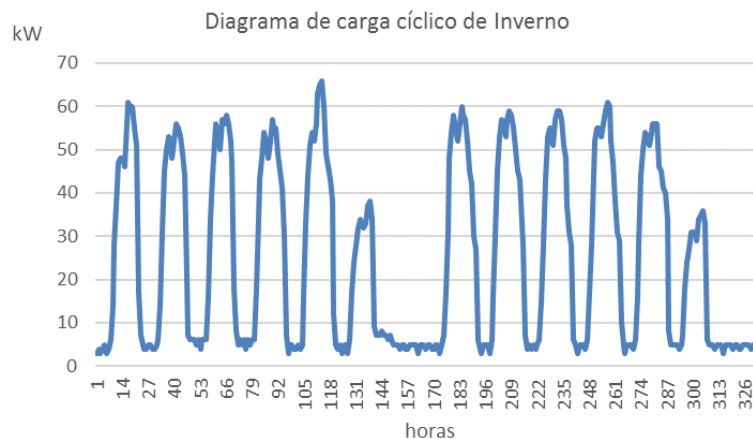


Figura 114 - Diagrama de carga cíclico de Inverno

### **Comparação entre Diagramas de carga de Inverno e Verão**

Pela análise dos diagramas de carga, verifica-se que o consumo é ligeiramente mais baixo no verão e mais elevado no inverno, devido às rotinas dos consumidores, da potência dos equipamentos de aquecimento e a existência de métodos de climatização natural no Verão. Contudo, são diferenças pouco acentuadas, pelo que se considera que o edifício apresenta perfis de consumo semelhantes nas estações de aquecimento e arrefecimento.

São apresentados os gráficos de diagramas de carga comparativos entre a estação do ano de inverno e de verão, para um dia útil, para um Sábado e para ciclos de uma e duas semanas.

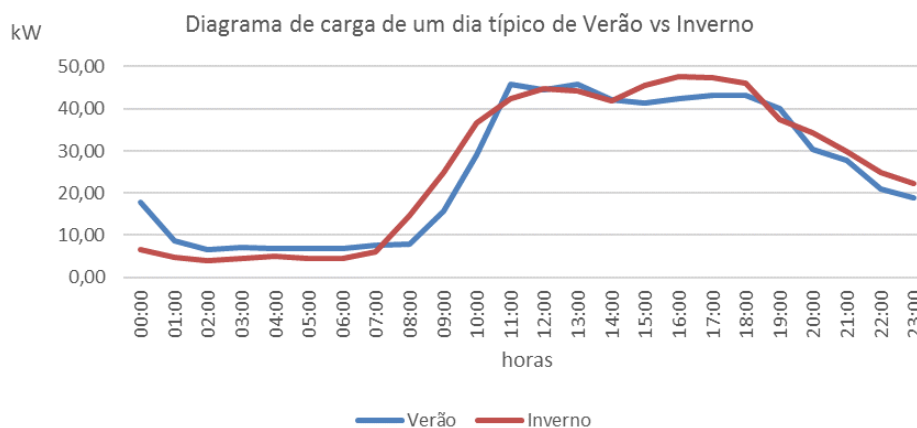


Figura 115 - Comparação dos diagramas de carga de um dia típico de Verão e Inverno

Pela análise dos diagramas de carga nas estações de Inverno e Verão apresentados na Figura 114, observa-se que ambos seguem padrões de consumo idênticos, verificando-se que em ambas as estações, os períodos de cheia e de vazio acontecem aproximadamente nos mesmos períodos

horários. No entanto, verifica-se uma deslocação da ponta de consumo para o final da manhã nos dias úteis de verão (Figura 116). Já aos Sábados, o pico de consumo ocorre por volta das 17:00h e não da parte da manhã. Verifica-se também que no inverno, os períodos de maior consumo são mais prolongados devido ao usual decréscimo da temperatura exterior.

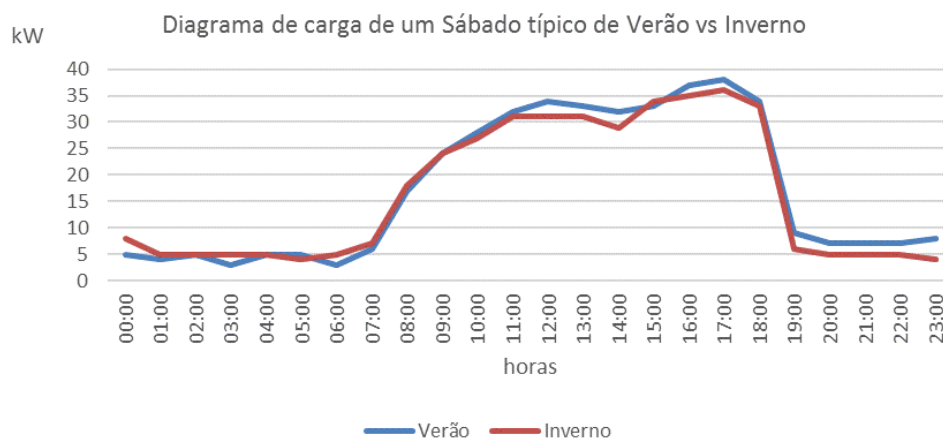


Figura 116 - Comparação dos diagramas de carga de um Sábado típico de Verão e Inverno

Analisando os diagramas de carga semanais da Figura 117, numa semana de Inverno, 09-01-2017 a 15-01-27, e numa semana de Verão, 10-07-2017 a 16-07-2017, constata-se que existe um consumo ligeiramente maior numa semana de Inverno, atingindo até 65 kWh de consumo de energia elétrica por hora, ao contrário da semana de Verão, em que o pico ocorre normalmente nos 45/50 kWh.

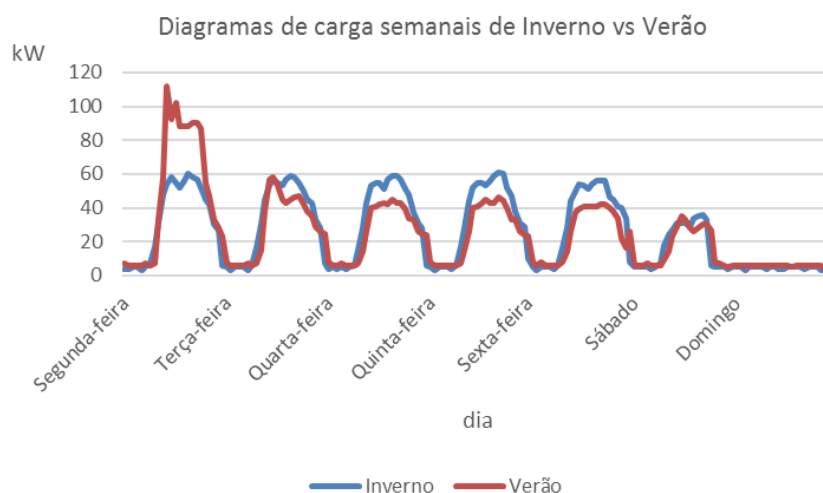


Figura 117 - Comparação dos diagramas de carga semanais de Verão e Inverno

Na Figura 116, estão representados os gráficos dos diagramas de carga para duas semanas nas estações de verão e inverno. É possível observar que o consumo no inverno apresenta níveis maiores, face ao consumo de verão, verificando-se que os picos de consumo no inverno localizam-se entre os 55 kWh e os 65 kWh em dias úteis, enquanto no verão o consumo localiza-se entre os 45 kWh e os

55 kWh (não considerando as anomalias detetadas nos três dias em que o sistema de arrefecimento esteve ligado ininterruptamente).

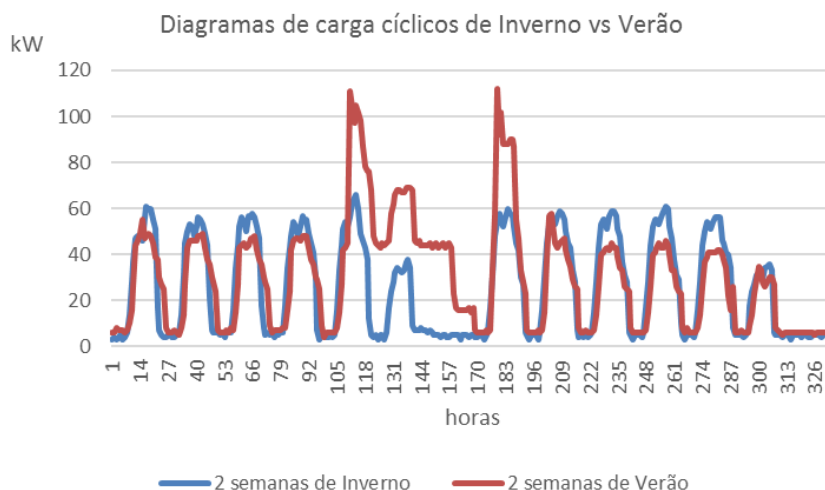


Figura 118 - Comparação dos diagramas de carga cíclicos de Verão e Inverno

Pela observação dos diagramas de carga comparativos de uma e duas semanas de verão e de inverno (Figuras 117 e 118), é possível verificar que o padrão de consumo do edifício é semelhante nas duas épocas do ano. No entanto, verifica-se a existência de uma deslocação da ponta no verão, localizando-se no final da manhã para os dias úteis e ao final da tarde nos dias de fim-de-semana, ao contrário do que acontece no inverno onde a ponta localiza-se sempre ao final da tarde, independentemente do tipo de dia.

### 3.5.3. Custos com energia elétrica

O edifício é alimentado a partir da rede de distribuição em média tensão, com uma potência contratada de 2,645 kVA à Iberdrola. Com base na informação recolhida junto dos Serviços de Gestão Técnica e da análise ao consumo por período horário, conclui-se que para o ano de 2017, o custo por kWh (energia ativa e termos de rede de energia), excluindo o preço da potência contratada, da energia reativa consumida e das taxas e impostos associados á fatura, é de 0,09€. Contudo, através de uma fatura fornecida pelos STGL, foi possível estimar o custo associado ao consumo de energia elétrica do edifício.

Da análise aos custos de energia, os mesmos apresentam, como seira de esperar, uma evolução ao longo do ano semelhante aos respetivos consumos associados. Na tabela e gráfico seguinte apresentam-se os consumos de acordo com as tarifas (Super vazio, vazio, cheias e ponta) em vigor para o ano de 2017, nos meses de janeiro a dezembro. Aplicam-se os seguintes períodos horários:

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Figura 119 - Ciclo horário semanal em Portugal Continental

Tendo em conta o horário de funcionamento da escola, é expectável que os maiores consumos ocorram no período de cheia, seguida do período de ponta. A tabela seguinte mostra os consumos mensais por tarifa horária durante o ano de 2017.

Tabela 33 - Consumo de energia elétrica por período horário

Mês	Ponta (kWh)	Cheia (kWh)	Vazio normal (kWh)	Super vazio (kWh)	Total (kWh)
Janeiro	6120	10086	1779	656	18641
Fevereiro	4928	8200	1714	733	15575
Março	5194	10242	1601	787	17824
Abril	2020	9246	1600	737	13603
Maio	2466	11335	1629	790	16220
Junho	3692	16702	2728	1493	24615
Julho	2920	12567	2761	1305	19553
Agosto	1384	4892	1215	742	8233
Setembro	2032	7636	1080	678	11426
Outubro	2639	10544	1457	636	15276
Novembro	5723	9186	2210	1004	18123
Dezembro	5288	9159	4143	1992	20582
<b>Total</b>	<b>44406</b>	<b>119795</b>	<b>23917</b>	<b>11553</b>	<b>199671</b>

Observa-se que grande fatia do consumo de eletricidade acontece durante o período de cheia, consumindo cerca de 119 795kWh, seguido do período de ponta com 44 406kWh. Os consumos nas tarifas de vazio normal e super vazio são respetivamente 23 917kWh e 11 553kWh.

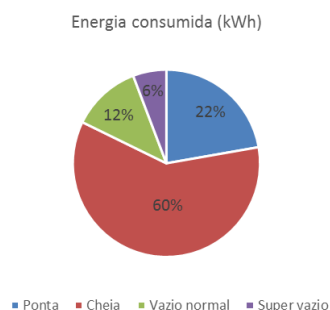


Figura 121 - Períodos horários com mais consumo de energia elétrica

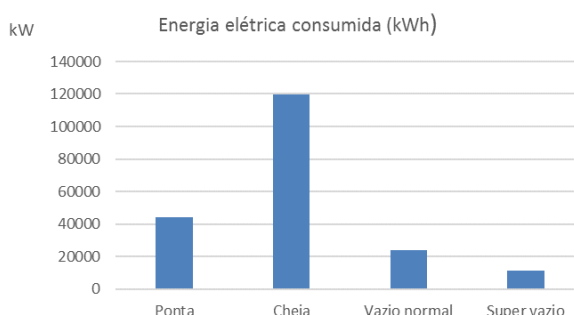


Figura 120 - Energia elétrica consumida por período horário

Dado isto, o gráfico da Figura 120 mostra a representatividade das tarifas no consumo de energia elétrica, revelando um consumo de 60% em horário de tarifa de cheia e um consumo de aproximadamente 22% em horário de tarifa de ponta. O período de vazio normal representa 12%, enquanto que o de super vazio apenas representa 6%.

Os consumos em regime de vazio normal e super vazio mantêm-se praticamente inalterados ao longo do ano, registando apenas ligeiros aumentos nos meses de junho, julho, novembro e dezembro. Em regime de ponta, os maiores consumos apresentam-se nos primeiros três meses e nos últimos dois meses do ano, correspondendo ao período de inverno, com cinco horas de ponta por dia. Nos restantes meses, existem apenas três horas de ponta por dia. Contudo, as necessidades de aquecimento no período da manhã (abertura do edifício), são uma causa para o aumento do consumo em tarifa de ponta durante estes meses. Relativamente ao período de cheia, o grande pico de consumo ocorre nos meses de maior consumo de energia elétrica, maio, junho e julho.

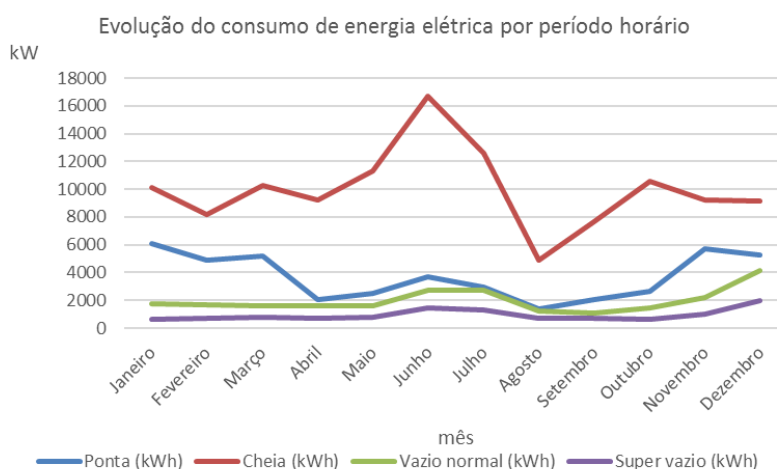


Figura 122 - Evolução do consumo de energia elétrica por período horário

Como também seria de esperar, os meses com maiores encargos financeiros, são os de janeiro, junho, julho, novembro e dezembro.

Tabela 34 - Custos de energia elétrica por período horário

Mês	Custo Super Vazio	Custo Vazio	Custo Cheia	Custo Ponta	Custo Total
Janeiro	39,16 €	121,15 €	969,26 €	650,56 €	1 780,13 €
Fevereiro	43,76 €	116,72 €	788,02 €	523,85 €	1 472,35 €
Março	46,98 €	108,96 €	888,54 €	552,12 €	1 596,61 €
Abril	44,00 €	170,08 €	982,85 €	214,73 €	1 411,65 €
Maio	47,16 €	110,93 €	1 089,29 €	262,14 €	1 509,53 €
Junho	89,13 €	185,78 €	1 605,06 €	392,46 €	2 272,43 €
Julho	77,91 €	188,02 €	1 207,69 €	310,40 €	1 784,02 €
Agosto	44,30 €	82,74 €	470,12 €	147,12 €	744,28 €
Setembro	40,48 €	73,55 €	733,82 €	216,00 €	1 063,85 €
Outubro	37,97 €	99,22 €	1 013,28 €	280,53 €	1 431,00 €
Novembro	59,94 €	150,50 €	882,77 €	608,35 €	1 701,57 €
Dezembro	118,92 €	282,14 €	880,18 €	562,11 €	1 843,36 €
<b>Total</b>	<b>689,71 €</b>	<b>1 689,80 €</b>	<b>11 510,89 €</b>	<b>4 720,36 €</b>	<b>18 610,76 €</b>

Pela análise da tabela, constata-se que os meses em que se verificaram maiores encargos com a energia elétrica, foram aqueles em que se verificaram maior consumo de eletricidade. Já os meses em que se verificaram menores encargos financeiros foram em fevereiro, abril, agosto, setembro e outubro.

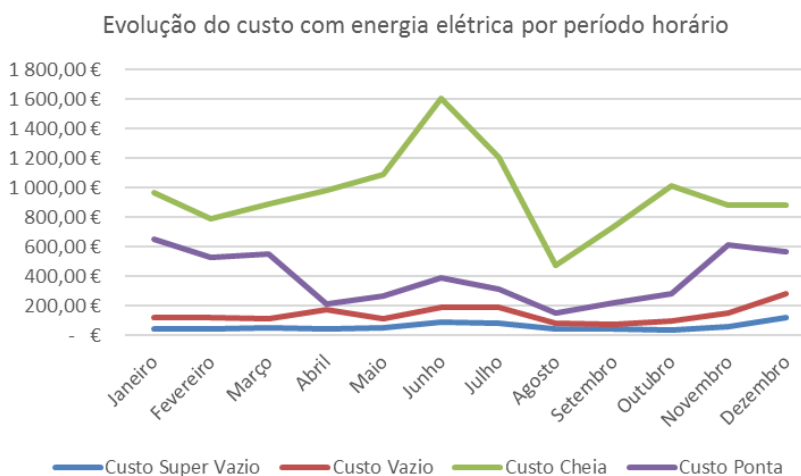


Figura 123 - Evolução do custo com energia elétrica por período horário



O edifício teve um custo com energia elétrica ativa consumida, durante o ano de 2017, de aproximadamente 21 225€. Será ainda de salientar que no período de férias, o edifício apresenta um custo médio de cerca de 875 €/mês. Utilizaram-se as seguintes tarifas para o cálculo do custo de energia elétrica:

Tabela 35 - Tarifas aplicadas para o cálculo do custo de energia elétrica por período horário

Energia Ativa	
€ Ponta (€/kWh)	0,06 €
€ Cheia (€/kWh)	0,06 €
€ Vazio (€/kWh)	0,05 €
€ Super Vazio (€/kWh)	0,04 €
Termos de redes de energia	
€ Ponta (€/kWh)	0,05 €
€ Cheia (€/kWh)	0,04 €
€ Vazio (€/kWh)	0,02 €
€ Super Vazio (€/kWh)	0,02 €

### 3.5.4. Consumo de gás natural

No que concerne ao consumo de gás natural, a biblioteca tem contrato com a Lusitânia Gás, sendo fornecido a 500 milibar. Para a análise do consumo de gás foram utilizadas as leituras enviadas pela datalogger.

Em termos anuais (com base na média do consumo dos últimos quatro anos), o edifício consome aproximadamente 8702 m<sup>3</sup> de gás natural, ou 98374 kWh, sendo que a sua utilização resulta unicamente da alimentação das caldeiras existentes na casa das máquinas do edifício para produção de energia térmica (água quente) para climatização.

A evolução do consumo anual de gás natural no edifício, pode então, ser demonstrada no seguinte gráfico.

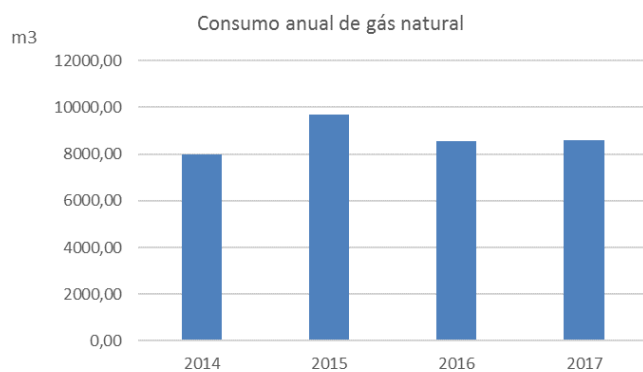


Figura 124 - Consumo anual de gás natural

Tabela 36 - Consumo anual de gás natural

	2014	2015	2016	2017
<b>Janeiro</b>	3644	3031	1725	2138
<b>Fevereiro</b>	2262	2393	1855	1564
<b>Março</b>	892	1445	2010	1471
<b>Abril</b>	284	0	1140	0
<b>Maio</b>	0	0	0	0
<b>Junho</b>	0	0	0	0
<b>Julho</b>	0	0	0	0
<b>Agosto</b>	0	0	0	0
<b>Setembro</b>	0	0	0	0
<b>Outubro</b>	0	0	155	0
<b>Novembro</b>	0	536	859	1176
<b>Dezembro</b>	909	2286	807	2228
<b>Total (m3)</b>	7991	9691	8550,9	8576,3

Verifica-se que o consumo anual de gás natural aumentou de 2014 para 2015, reduzindo e estabilizando em 2016 e 2017.

No gráfico seguinte, é possível observar as curvas de variação de consumo de gás natural por mês e por ano.

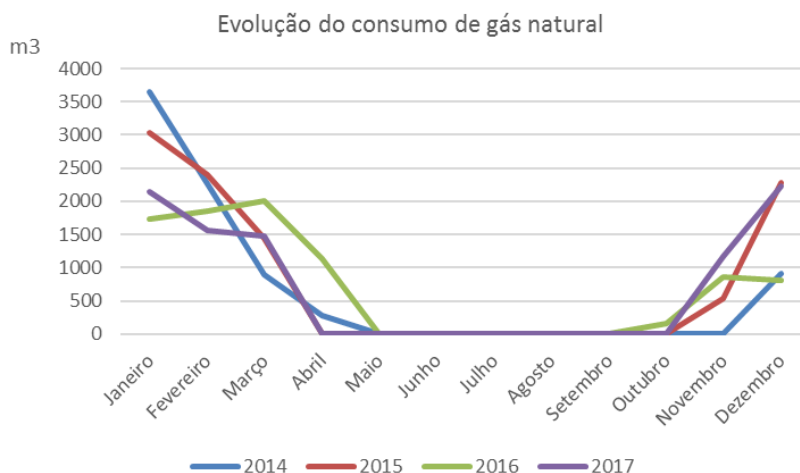


Figura 125 - Evolução do consumo de gás natural por mês e ano

Conforme seria espectável, o consumo de gás natural ocorre durante o período de aquecimento, resultado do funcionamento das duas caldeiras. É possível verificar que é no mês de janeiro que existe um maior consumo de gás natural, seguido dos meses de fevereiro e dezembro. Já os meses de menor consumo são os meses de março, abril e novembro, e os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro onde não existem consumos de gás natural.

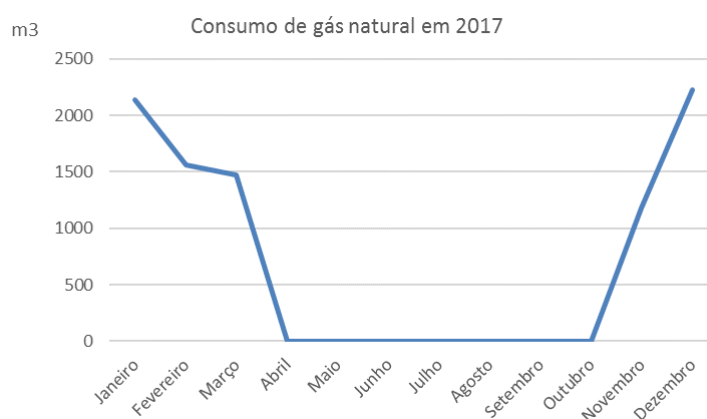


Figura 126 - Variação do consumo de gás natural em 2017

Como é possível observar, durante o ano de 2017, apenas existiu consumo de gás natural nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, sendo que este último, foi que apresentou maior consumo de gás natural.

### 3.5.5. Custos com gás natural

Para o cálculo dos custos referentes ao consumo de gás natural, não se consideraram os períodos tarifários. Para a conversão do volume de gás para energia equivalente foi utilizado o fator de 11,3 kWh/ m3.

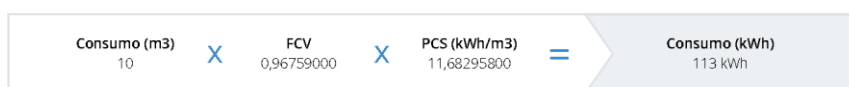


Figura 127 - Método de conversão de m3 para kWh (adaptado de endesa)

Segundos dados da Lusitânia Gás e do consumo anual de gás natural do edifício, o escalão a aplicar será o seguinte:

Tabela 37 - Termos tarifários do gás natural

Escalão	(m3/ano)	Termo tarifário fixo (€/mês)	Energia (€/kWh)	Termo tarifário fixo (€/dia)
Escalão 4	1.001 - 10.000	4,34	0,0498	0,1428

Tabela 38 - Consumos e custos de gás natural nos últimos quatro anos

-	2014	2015	2016	2017
Consumo de gás natural (m3)	7991	9691	8550,9	8576,3
Consumo de gás natural (kWh)	90333	109550	96663	98849
Custo (€)	4 498,57 €	5 455,60 €	4 813,77 €	4 828,07 €

Admitindo que os preços e os termos tarifários se mantiveram inalterados ao longo dos últimos quatro anos, apresentam-se na tabela seguinte, os custos associados ao consumo de gás natural, não considerando, no entanto, os termos tarifários fixos, nos anos em questão:

Pela análise da tabela, constata-se que os meses em que se verificaram maiores encargos com gás natural, foram aqueles em que se verificaram como era de esperar, os meses com maior consumo de gás natural, em dezembro, janeiro, fevereiro e março. Já os meses em que se verificaram menores encargos financeiros foram abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro.

Tabela 39 - Custos com gás natural

Mês	2014	2015	2016	2017
Janeiro	2 051,41 €	1 706,32 €	971,10 €	1 203,32 €
Fevereiro	1 273,40 €	1 347,15 €	1 044,28 €	880,29 €
Março	502,16 €	813,47 €	1 131,54 €	828,16 €
Abril	159,88 €	- €	641,77 €	- €
Maio	- €	- €	- €	- €
Junho	- €	- €	- €	- €
Julho	- €	- €	- €	- €
Agosto	- €	- €	- €	- €
Setembro	- €	- €	- €	- €
Outubro	- €	- €	87,26 €	- €
Novembro	- €	301,74 €	483,30 €	662,03 €
Dezembro	511,73 €	1 286,91 €	454,53 €	1 254,26 €
<b>Total (€)</b>	<b>4 498,57 €</b>	<b>5 455,60 €</b>	<b>4 813,77 €</b>	<b>4 828,07 €</b>

O custo com o gás natural durante o ano de 2017 foi de 4 828,07€.

### 3.5.6. Emissões de CO<sub>2</sub>

Através dos valores de consumo de energia elétrica e de gás natural é possível determinar as emissões de dióxido de carbono de todo o edifício. Para isso, é necessário converter a energia final para energia primária, utilizando os fatores de conversão presentes na legislação portuguesa. Os fatores de conversão entre energia final e energia primária, de acordo com a legislação nacional, para edifícios de habitação e edifícios de serviços e comércio são de 2.5 KWhEP independente da origem, e de 1 KWhEP para todos os combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis. Caso a energia térmica tenha uma fonte de origem renovável o fator de conversão é de 1 KWhEP/kWh.

Após conversão, é necessário aplicar um segundo fator de conversão para determinar as emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de energia. Para o caso de energia elétrica o fator é de 0.144 kgCO<sub>2</sub>/kWh, enquanto que o do gás natural é de 0.202 kgCO<sub>2</sub>/kWh.

Tabela 40 - Emissões de CO<sub>2</sub> anuais

Ano	Energia primária			Emissões de CO <sub>2</sub> (ton)
	Energia elétrica (kWhEP)	Gás Natural (kWhEP)	Total (kWhEP)	
<b>2014</b>	504387,50	90332,77	594720,27	90,88
<b>2015</b>	505967,50	109550,10	615517,60	94,99
<b>2016</b>	631595,00	96663,18	728258,18	110,48
<b>2017</b>	499165,00	96945,79	596110,79	91,46

Verifica-se que no período de 2014 a 2016 existe um sucessivo acréscimo de emissão de CO<sub>2</sub>, como resposta ao aumento do consumo de energia, diminuindo em 2017. A energia elétrica é

responsável por grande parte das emissões de CO<sub>2</sub>, uma vez que para além de apresentar um maior consumo, torna-se ainda necessário aplicar um fator de conversão superior.

Emissão de CO<sub>2</sub> em 2017 por energia primária

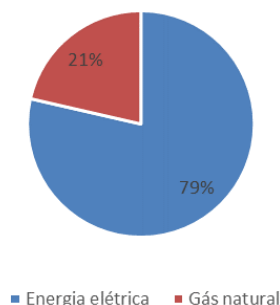


Figura 128 - Emissão de CO<sub>2</sub> em 2017 por energia primária

Emissão de CO<sub>2</sub> em 2016 por energia primária

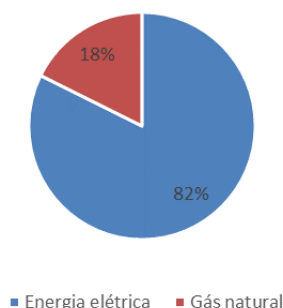


Figura 129 - Emissão de CO<sub>2</sub> em 2016 por energia primária

Em 2016 a energia elétrica representou cerca de 91% da energia final adquirida, e em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, representa 89% das emissões do edifício. Já em 20017, com a redução do consumo de energia elétrica, as emissões de CO<sub>2</sub> deste tipo de fonte de energia, passou a representar cerca de 79% das emissões de CO<sub>2</sub> do edifício.

### 3.5.7. Índice de Eficiência Energética real

Para a verificar os requisitos de eficiência energética, começou-se por analisar os consumos nos últimos quatro anos e também o índice de eficiência energética real (IEE<sub>real</sub>), convertendo a média do consumo de energia anual em energia primária e dividindo pela área útil do edifício. O valor obtido para este indicador, não deve exceder o valor de referência para a tipologia do edifício em causa (Anexos X e XI do RSECE). Estes valores encontram-se no Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de abril. Se a condição anterior não se verificar, isto é, se o  $IEE_{real} > IEE_{referência}$ , torna-se necessário calcular o IEE nas condições nominais de utilização (IEE<sub>nominal</sub>) através de software de simulação dinâmica, acreditados nos termos da norma ANSI/ASHRAE, Standard 140-2004 – Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Program. Para o cálculo deste indicador, torna-se necessário adotar padrões de referência (ocupação iluminação e equipamentos), podendo ser encontrados no Anexo XV do RSECE. Se este último indicador for inferior ao indicador de referência, ou seja,  $IEE_{nominal} < IEE_{referência}$ , pode ser emitido o respetivo certificado nos termos do SCE. Caso seja superior, isto é,  $IEE_{nominal} > IEE_{referência}$ , torna-se necessário a elaboração de um Plano de Racionalização Energética (PRE), com o intuito de reduzir o consumo energético.

Posto isto, o  $IEE_{real}$  é calculado a partir dos consumos efetivos de energia do edifício durante um ano, sendo convertidos, utilizando os seguintes fatores de conversão para uma base de energia primária: eletricidade – 0,290kgep/kWh; combustíveis sólidos, líquidos e gasosos – 0,086kgep/kWh.

Após análise dos consumos energéticos do edifício, é possível determinar o  $IEE_{real}$ , verificando-se que aumenta de 2014 a 2016, uma vez que o consumo de energia também aumenta neste período. O  $IEE_{real}$  em 2014 foi de aproximadamente 128,09 kWhEP/m<sup>2</sup>.ano ou 14,27 kgep/m<sup>2</sup>.ano sofrendo um aumento significativo de 10% em 2016, para 156,85 kWhEP/m<sup>2</sup>.ano. Esta diferença prende-se pelo grande aumento de consumo de energia elétrica.

Tabela 41 - IEE real do edifício em (kWhEP/m<sup>2</sup>.ano)

Ano	Área (m <sup>2</sup> )	Energia final adquirida			Energia Primária			IEE (kWhEP/m <sup>2</sup> .ano)
		E.E. (kWh)	G.N. (kWh)	Total (kWh)	E.E. (kWhEP)	G.N. (kWhEP)	Total (kWhEP)	
2014	4643	201755,00	90332,77	292087,77	504387,50	90332,77	594720,27	128,09
2015		202387,00	109550,10	311937,10	505967,50	109550,10	615517,60	132,57
2016		252638,00	96663,18	349301,18	631595,00	96663,18	728258,18	156,85
2017		199666,00	96945,79	296611,79	499165	96945,79	596110,79	128,39

Tabela 42 - IEE real do edifício em (kgep/m<sup>2</sup>.ano)

Ano	Área (m <sup>2</sup> )	Energia final adquirida			Energia Primária			IEE (kgep/m <sup>2</sup> .ano)
		E.E. (kWh)	G.N. (kWh)	Total (kWh)	E.E. (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	G.N. (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	Total (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	
2014	4643	201755,00	90332,77	292087,77	58508,95	7768,62	66277,57	14,27
2015		202387,00	109550,10	311937,10	58692,23	9421,31	68113,54	14,67
2016		252638,00	96663,18	349301,18	73265,02	8313,03	81578,05	17,57
2017		199666,00	96945,79	296611,79	57903,14	8337,34	66240,48	14,27

Já em 2017, o  $IEE_{real}$  foi de 14,27 kgep/m<sup>2</sup>.ano, diminuindo em relação ao ano transato. A justificação pode estar relacionada com uma melhor gestão da energia no edifício, ajuste dos perfis horários do sistema de climatização e condições climatéricas exteriores mais favoráveis. Ao nível da energia elétrica, a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED nos salões de estudo em todos os pisos, podem justificar a redução do consumo.

Segundo o Anexo X do RSECE, o  $IEE_{ref}$  para bibliotecas é de 20kgep/m<sup>2</sup>.ano. Comparando com o  $IEE_{real}$ , nota-se que é inferior ao  $IEE_{ref}$ , pelo que o edifício está regulamentar e não necessita de Plano de Racionalização Energética (PRE).

Torna-se importante referir que a regulamentação que é aplicada neste trabalho, já não se enquadra no quadro legislativo nacional. A sua aplicação é justificada pela não utilização de ferramentas de simulação dinâmica, como dita o regulamento atual.

### 3.5.8. Classe de Eficiência Energética

Com base no IEE<sub>real</sub> calculado nos últimos três anos, pode-se determinar a classe energética do edifício, recorrendo-se ao exposto no Despacho 15793- J/2013 que indica que a classe é determinada através do rácio R<sub>IEE</sub>:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{prev,S} - IEE_{ren}}{IEE_{ref,S}}$$

Classe Energética	Valor de R <sub>Nt</sub>
A+	R <sub>Nt</sub> ≤ 0,25
A	0,26 ≤ R <sub>Nt</sub> ≤ 0,50
B	0,51 ≤ R <sub>Nt</sub> ≤ 0,75
B-	0,76 ≤ R <sub>Nt</sub> ≤ 1,00
C	1,01 ≤ R <sub>Nt</sub> ≤ 1,50
D	1,51 ≤ R <sub>Nt</sub> ≤ 2,00
E	2,01 ≤ R <sub>Nt</sub> ≤ 2,50
F	R <sub>Nt</sub> ≥ 3,00

Uma vez que não existe produção de energias renováveis, o rácio é de 0,78, pelo que o edifício apresenta uma classe energética B-.

Volta-se a referir, que a regulamentação utilizada, referente ao ano de 2013, tornou-se necessária, uma vez que, não foi possível recorrer a nenhuma ferramenta de simulação dinâmica, como dita o regulamento em vigor atualmente.

### 3.5.9. Variação do consumo de energia com a temperatura exterior

Uma vez identificados os setores mais relevantes no consumo energético do edifício, torna-se necessário relacionar o clima com o consumo de energia, a fim de avaliar se existem correlações consideradas válidas, que justifiquem a variação do consumo. É provável, por exemplo, que com o aumento da temperatura exterior nos meses de Verão, exista uma maior necessidade de arrefecimento neste período, o que pode implicar um aumento de consumo dos equipamentos de arrefecimento, com o objetivo de manter as condições de temperatura interior. O mesmo se poderá afirmar para os meses de aquecimento. A fim de estudar a influência da temperatura média exterior no consumo de energia elétrica, foi necessário recolher os valores de temperatura média diária do período em questão, através de um histórico de dados que pode ser acedido através do endereço <https://www.wunderground.com>.

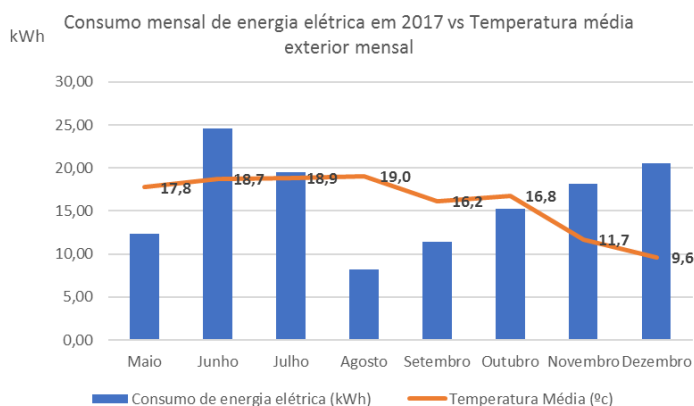


Figura 130 - Variação do consumo de energia elétrica em 2017 com a temperatura média exterior mensal

Deste modo, apresenta-se o perfil de carga anual de energia elétrica e gás natural durante o ano de 2017, com a respetiva temperatura média exterior mensal (Figura 128).

Apesar do consumo no edifício variar bastante ao longo do ano, é possível destacar que, quanto maior é a temperatura média exterior mensal, maior é o consumo de energia elétrica. O mesmo se verifica nos meses mais frios, onde o consumo volta a disparar com a redução da temperatura exterior. Verifica-se que tipicamente, á exceção do mês de agosto e maio, existe um maior consumo de energia elétrica nos meses de arrefecimento (junho e julho). Contudo, a diferença não é muito significativa, comparando com os meses de dezembro e janeiro. O mesmo cenário se verifica para o gás natural, onde o seu consumo aumenta, á medida que a temperatura exterior diminui.

Com o objetivo de apresentar valores concretos da relação existente entre o consumo de energia elétrica e gás natural e a temperatura exterior do edifício, torna-se necessário calcular o valor da correlação simples entre o consumo de energia elétrica mensal e a temperatura exterior média mensal, durante o período de um ano (2017). O mesmo acontece com o consumo de gás natural.

A tabela da Figura 129, descreve os tipos de correlação que se poderão admitir, podendo, contudo, ter interpretações diferentes, consoante o tipo de situação em questão. A fórmula para o cálculo da mesma também é apresentada na Figura 128.

Coefficiente de correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 < r < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Figura 131 - Classificação dos tipos de correlação

$$r_{x,y} = \frac{\sum (x - x_{med}) \times (y - y_{med})}{\sqrt{\sum (x - x_{med})^2 \times \sum (y - y_{med})^2}}$$

Figura 132 - Fórmula de cálculo da correlação entre duas variáveis

A correlação entre duas variáveis, expressa-se pelo coeficiente de correlação, que pode variar de +1 a -1. Este coeficiente, representa uma medida de intensidade da relação entre duas variáveis, pelo que quanto mais próximo de +1 estiver, mais forte será a relação entre ambos, ou seja, se uma variável tende a aumentar, a outra apresenta um comportamento semelhante. Se o coeficiente se aproximar de -1, significa que se uma variável diminui, a outra tende a aumentar, ou seja, estão inversamente correlacionadas.



### 3.5.9.1. Variação do consumo de energia elétrica com a temperatura exterior

Com a informação acima exposta e através dos dados da tabela seguinte, torna-se possível calcular a correlação entre as duas variáveis.

Tabela 43 - Correlação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura média exterior

2017	Consumo de energia elétrica (kWh)	Temperatura Média (°C)
Janeiro	18,64	9,94
Fevereiro	15,58	12,18
Março	17,82	13,37
Abril	13,60	15,55
Maio	16,22	17,75
Junho	24,62	18,69
Julho	19,55	18,86
Agosto	8,23	19,04
Setembro	11,43	16,15
Outubro	15,28	16,77
Novembro	18,12	11,65
Dezembro	20,58	9,58
Correlação	-0,24	

Posto isto, conclui-se que a correlação é fraca negativa, ou seja, os valores de consumo variam em proporção inversa aos valores da temperatura, mas com pouca dependência entre si. Isto apenas faz sentido nos meses de inverno onde, consoante a diminuição de temperatura, o consumo elétrico tende a aumentar. Assim, analisa-se a correlação entre as duas variáveis separadamente, para os meses considerados de aquecimento e arrefecimento. Dado isto, para os meses de Inverno tem-se:

Tabela 44 - Correlação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura média exterior apenas para a estação de aquecimento

2017	Consumo de energia elétrica (kWh)	Temperatura Média (°C)
Janeiro	18,64	9,94
Fevereiro	15,58	12,18
Março	17,82	13,37
Abril	13,60	15,55
Novembro	18,12	11,65
Dezembro	20,58	9,58
Correlação	-0,87	

Tabela 45 - Correlação entre o consumo de energia elétrica e a temperatura média exterior, apenas para a estação de arrefecimento

2017	Consumo de energia elétrica (kWh)	Temperatura Média (°C)
Maio	16,22	17,75
Junho	24,62	18,69
Julho	19,55	18,86
Setembro	11,43	16,15
Correlação	0,89	

Com esta análise, conclui-se que as correlações entre as duas variáveis são fortes negativas e fortes positivas, consoante as respetivas estações sazonais.

### 3.5.9.2. Variação do consumo de energia elétrica diário com a temperatura média diária exterior

Para obter uma análise mais profunda sobre a variação do consumo de energia elétrica diário relativamente à temperatura média exterior, calculou-se a variação do consumo de energia elétrica em dias com temperaturas médias exteriores iguais. Deste modo, selecionaram-se três temperaturas que se repetiram ao longo dos quatro meses de aquecimento (janeiro, fevereiro, março e novembro.) e dos três meses de arrefecimento (maio, junho e julho), a fim de registar o número de dias em que as temperaturas se repetiram, recolhendo posteriormente os consumos diários. Com isto, identificam-se os valores máximos, médios e mínimos do consumo diário dos dias que apresentam a mesma temperatura exterior, calculando depois a variação entre os consumos máximos e mínimos para cada temperatura. Não foi considerado o mês de agosto, por ser um mês de férias e o mês de dezembro, onde existiram consumos anormais, fora do horário de funcionamento da biblioteca. O final do mês de novembro, apesar de revelar comportamentos semelhante ao mês de dezembro, foi considerado.

Tabela 46 - Temperaturas consideradas para análise da variação do consumo de energia elétrica diário com a temperatura média diária exterior

	Meses de aquecimento	Meses de arrefecimento
Temperatura elevada	14	24
Temperatura média	11	20
Temperatura baixa	9	16

Tabela 47 - Variação do consumo de energia elétrica diário com a temperatura média diária exterior

Meses de Inverno		Consumo diário (kWh)			Variação (%)
Temperatura média exterior (°C)	Ocorrências	Consumo máximo	Consumo médio	Consumo mínimo	
14	4	685	652	578	16%
11	7	667	694	658	1%
8	6	782	745	605	23%
					Média = 13%
Meses de Verão		Consumo diário (kWh)			Variação (%)
Temperatura média exterior (°C)	Ocorrências	Consumo máximo	Consumo médio	Consumo mínimo	
21	4	717	684	652	9%
19	6	758	643	536	29%
17	7	677	636	580	14%
					Média = 18%

Pela amostragem retirada, nota-se que podem existir variações médias de 13% nos meses de Inverno e 14% nos meses de Verão, podendo-se também concluir que os consumos médios aumentam consoante a diminuição da temperatura exterior (nos meses de Inverno), acontecendo o contrário nos meses de Verão.

### 3.5.10. Variação do consumo de gás natural com a temperatura média exterior

De seguida, calcula-se a correlação entre o consumo de gás natural e a temperatura média exterior. Não se consideraram os meses em que não existiu consumo de gás natural.

Tabela 48 - Correlação do consumo de gás natural com temperatura média exterior

2017	Consumo de gás natural (kWh)	Temperatura Média (°C)
Janeiro	24162,97	9,94
Fevereiro	17676,55	12,18
Março	16629,78	13,37
Novembro	13293,87	11,65
Dezembro	25186,01	9,58
Correlação	-0,80	

Dos dados retirados, conclui-se que existe uma correlação forte negativa, ou seja, quando menor a temperatura média exterior, maior será o consumo de gás natural no edifício.

#### 3.5.10.1. Variação do consumo de gás natural diário com a temperatura média diária exterior

Fixando as temperaturas nos meses de Inverno, tal como realizado na análise da variação da energia elétrica nos meses de Verão, é possível calcular a variação do consumo de gás natural para as mesmas temperaturas médias exteriores registadas. Deste modo, tem-se:

Tabela 49 - Variação do consumo de gás natural diário com a temperatura média diária exterior

Meses de Inverno		Consumo diário (kWh)			Variação (%)
Temperatura média exterior (°C)	Ocorrências	Consumo máximo	Consumo médio	Consumo mínimo	
14	4	103,8	77,2	53,2	49%
11	5	102,8	81,54	60,9	41%
8	6	136,1	105,13	62,1	54%
					Média = 48%

Pela amostragem retirada, conclui-se que existem variações mais significativas nos consumos de gás natural, podendo existir variações médias de 48% nos meses de Inverno. Contudo, é possível perceber que o consumo médio de gás natural aumenta, consoante a diminuição de temperatura, notando-se também consumos máximos maiores com temperaturas mais baixas.



## 4. Avaliação do impacto de medidas de eficiência energética

Após levantamento e tratamentos dos dados expostos no capítulo anterior, torna-se possível identificar os setores que possam ter mais relevância e impacto na redução do consumo energético do edifício. Com isto, no presente capítulo, apresentam-se e avaliam-se medidas e soluções de eficiência energética possíveis de implementar com e sem investimento financeiro. É também efetuada uma análise sobre as medidas que já foram implementadas no edifício, demonstrando os benefícios alcançados.

Para analisar a viabilidade económica das medidas propostas, assumiu-se o método de cálculo que se encontra no Anexo XIII do regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios. A viabilidade económica das medidas de eficiência energética, para efeitos do presente regulamento, é calculada através do parâmetro «Período de Retorno Simples» (PRS), cuja definição é a seguinte:

$$PRS = C_a/P_1$$

em que:

$C_a$  - custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base, isto é, sem a alternativa de maior eficiência energética, e o da solução mais eficiente.

$P_1$  - poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais, detalhadas ou simplificadas do funcionamento do edifício e dos seus sistemas energéticos.

Esta metodologia avalia as situações com custos de energia constantes não considerando quaisquer custos financeiros e efeitos da inflação.

### 4.1. Medidas já implementadas

Foram recentemente substituídas todas as lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W da marca Philips, presentes em todas as estantes dos salões de leitura dos pisos 2, 3 e 4, por lâmpadas LED da marca OSRAM, do tipo PrevaLED linear slim 3, de 60W por régua, sendo que cada régua possui duas fitas com lâmpadas LED.



Figura 133- Réguas de lâmpadas LED instaladas atualmente



Figura 134 - Lâmpadas fluorescentes tubulares anteriores á remodelação

Anteriormente, cada estante possuía nove lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W, apresentando uma potência total de 324W (não considerando o consumo dos balastros). Após a intervenção, foram instaladas quatro réguas, onde cada estante passou a apresentar uma potência de 266W, aproximadamente 60W por cada régua de lâmpadas LED.

Tabela 50 - Consumo das lâmpadas fluorescentes tubulares vs lâmpadas LED nas estantes dos salões de leitura

2017	Cenário base	Cenário atual
	Iluminação anterior - estantes	Iluminação LED - estantes
Consumo anual (kWh)	60527,41	48351,60
Custo anual (€)	5 447,47 €	4 351,64 €
Poupança anual (kWh)		12175,81
Poupança anual (€)		1 095,82 €

Após a intervenção, conseguiu-se uma redução da potência instalada em 9,23kW, traduzindo-se numa poupança energética de 12175,81kWh por ano. Esta poupança permitiu uma redução na fatura energética anual de 1330,34€. Os valores apresentados foram calculados com base no mesmo perfil de utilização indicado no capítulo anterior. É possível observar na imagem abaixo (Figura 133), a diferença visual em termos de luminosidade, relativamente às estantes equipadas com lâmpadas LED (lado esquerdo) e às estantes equipadas com lâmpadas fluorescentes tubulares (lado direito).



Figura 135 - Iluminação LED (esquerda) e iluminação fluorescente (direita)

Foi também realizado um teste, substituindo as duas lâmpadas fluorescentes compactas de 24W de um candeeiro de uma mesa de trabalho no 2º piso, por duas lâmpadas LED de 12W cada. Em termos de luminosidade, está sobredimensionado, uma vez que esta passou para cerca de 1100 lux na zona de trabalho dessa mesa, quando anteriormente apresentava cerca de 300 lux. Se fosse estendido a todos os candeeiros das mesas de trabalho dos salões de leitura passaríamos a ter uma poupança anual de aproximadamente 258,10€ na fatura energética, correspondendo a uma diminuição de 2867,83 kWh de energia consumida num ano.

Tabela 51 - Consumo estimado da iluminação LED nas mesas dos salões de leitura

2017	Cenário base	Cenário experimental
	Iluminação atual - mesas	Iluminação LED - mesas
Consumo anual (kWh)	5735,66	2867,83
Custo anual (€)	516,21 €	258,10 €
Poupança anual (kWh)		2867,83
Poupança anual (€)		258,10 €

Contudo, propõe-se neste caso, uma lâmpada de menor potência, com menor fluxo luminoso para tentar adequar ao respetivo local de trabalho que requer apenas 500lux. Deste modo, teríamos quatro lâmpadas LED de 9W por mesa, ou seja, duas por candeeiro, estimando-se uma redução anual de aproximadamente 3584,79 kWh de energia elétrica, correspondendo a uma poupança anual de cerca de 322,63€ na fatura energética.

Tabela 52 - Consumo e poupança estimada da iluminação LED com menor potência nas mesas dos salões de leitura

2017	Cenário base	Cenário experimental
	Iluminação atual - mesas	Iluminação LED - mesas
Consumo anual (kWh)	5735,66	2150,87
Custo anual (€)	516,21 €	193,58 €
Poupança anual (kWh)		3584,79
Poupança anual (€)		322,63 €

## 4.1. Medidas possíveis de implementar sem investimento

### 4.1.1. Gestão da procura de energia

A boa gestão da procura de energia apresenta-se com uma medida tangível de ser implementada, em que mesmo não levando diretamente à redução do consumo energético, consegue ter implicações diretas na fatura de energia elétrica. A passagem de consumos para horas de vazio e super vazio, controlando também as horas de ponta são duas medidas que podem trazer alguma poupança na fatura energética.

Segundo o contrato de fornecimento, no Inverno, as horas de ponta ocorrem em dois períodos ao longo do dia, das 09:30h às 12:00h e das 18:30h às 21:00h, pelo que no Verão ocorrem apenas no período da manhã, das 09:15h às 12:15h, sendo estes, os períodos mais caros do dia. Já os períodos

mais baratos, são durante as horas de vazio normal (00:00h às 02:00h e 06:00h às 07:00h) e super vazio (02:00h às 06:00h).

Neste caso, é apenas possível movimentar os consumos referentes ao sistema de climatização de segunda-feira a sexta-feira, uma vez que tanto o sistema de iluminação, como os equipamentos necessitam de estar ligados durante o horário de funcionamento da biblioteca. Admitindo que o consumo do sistema AVAC é constante ao longo do dia, é possível prever a poupança estimada com base em dois cenários:

**Cenário 1** – Eliminação do consumo dos equipamentos do sistema de climatização nas horas de ponta, nos meses de Inverno e Verão.

**Cenário 2** – Passagem do consumo dos equipamentos do sistema de climatização nas horas de ponta da parte da manhã (09:30h – 12:00h no Inverno e 09:15h – 12:15h no Verão), para o período de cheias (07:00h – 09:30h e 07:00h-09:15h respetivamente), eliminando também as horas de ponta da parte da tarde nos meses de Inverno, ou seja, o sistema de climatização desligaria às 18:30h.

Na tabela seguinte são apresentados os dois cenários possíveis de redução do consumo nas horas de ponta: um por eliminação do consumo do sistema AVAC nessas mesmas horas, e outro por transferência dessa energia para a tarifa de cheias, eliminando também o consumo nas horas de ponta da parte da tarde.

Tabela 53 - Consumos e poupanças estimadas com a implementação dos Cenários 1 e 2

2017	Cenário base		Cenário 1		Cenário 2	
	Cheias	Ponta	Cheias	Ponta	Cheias	Ponta
Consumo anual (kWh)	119795	44406	119795	32081	129564	32081
Custo anual (€)	11 510,89 €	4 720,36 €	11 510,89 €	3 528,86 €	12 449,58 €	3 528,86 €
Energia transferida anual (kWh)	-	-	0	-	9769	-
Poupança anual (kWh)	-	-	12325	-	2556	-
Poupança anual (€)	-	-	1 191,50 €	-	252,81 €	-

Se o Cenário 1 fosse implementado, seria possível obter uma poupança anual de aproximadamente 1191€, desabilitando os equipamentos do sistema AVAC no período das horas de ponta, correspondendo a uma redução de 12325 kWh de energia elétrica consumida, ou seja, uma diminuição de 6%. No segundo cenário, observa-se uma poupança anual de cerca de 252,81€ na transferência de cerca de 9796kWh do período de ponta para o de cheias apenas no período da manhã durante os meses de Inverno e Verão e eliminando também o consumo nas horas de ponta no período da tarde.



#### **4.1.2. Gestão horária do sistema de climatização**

Tendo conhecimento dos horários de funcionamento dos equipamentos, analisa-se a possibilidade de otimizar o horário dos mesmos, tendo em conta a sua utilização em cada setor. Através do SGT, é possível definir o horário de funcionamento destes equipamentos, tornando o sistema automatizado, uma vez que não é necessária interferência humana para ativar ou desativar os mesmos.

A biblioteca possui normalmente um horário de funcionamento entre as 09:00h e as 22:00h, mas nem sempre existe ocupação de todos os espaços, sendo que existem equipamentos que poderão estar a funcionar desnecessariamente. Com base nos horários estabelecidos, foram-se realizando alterações no SGT relativamente aos horários de funcionamento dos equipamentos, com o objetivo de otimizar os consumos e os equipamentos do sistema. Primeiramente, definiu-se que os equipamentos referentes ao sistema de aquecimento, funcionassem apenas das 08:00h até às 20:00h, ou seja, desligavam duas horas mais cedo. Após esta alteração, não se apresentaram queixas de desconforto no período final de funcionamento do edifício por parte dos utilizadores e funcionários. Posto isto, decidiu-se alterar novamente o horário de funcionamento, desta vez, entrando em operação às 09:00h e deixando de funcionar às 18:00h. Novamente, não se registou qualquer tipo de queixa ou desconforto, levando a concluir que este horário pode também ser estabelecido futuramente. Para que estas alterações fossem possíveis, foi necessário estabelecer o mesmo horário de funcionamento para as eletrobombas do sistema de aquecimento.

O mesmo se fez para o horário de funcionamento das UTAN, como explicado mais abaixo. Neste caso, aplicaram-se horários diferentes consoante a área e o tipo de atividade que lá se pratica.

Repetiram-se as alterações nos *chillers*, já na estação de arrefecimento. Neste caso, encurtou-se o período de funcionamento em apenas duas horas, ou seja, começava a funcionar uma hora mais tarde (09:30h) e desligava uma hora mais cedo (17:30h).

Posto isto, e para além dos cenários já apresentados, existem algumas situações onde é possível obter algumas poupanças sem a necessidade de efetuar qualquer investimento, nomeadamente na gestão horária do sistema AVAC: Deste modo, apresentam-se os seguintes cenários:

#### **Cenário 3 – Gestão horária do sistema AVAC**

Através do SGT é possível configurar horários de funcionamento de alguns equipamentos, tais como as UTAN, as caldeiras e os *chillers* (que funcionam mediante o estado de funcionamento das eletrobombas).

### Cenário 3.1 - Alteração do horário de funcionamento das UTAN

O sistema está inicialmente configurado para funcionar entre as 08:30h e as 21:00h sem interrupções, com uma temperatura de insuflação de 22°C.

Tabela 54 - Setpoints originais das UTAN

Setpoints originais	
Temp. de insuflação	22°C
Humidade	55%
Horário de funcionamento	08:30h - 21:00h

Dado o horário normal de funcionamento da biblioteca (09:00h – 22:00h), aliado á diminuta ocupação nos períodos entre as 09:00h e 09:30h e as 20:00h e 22:00h, propõe-se a alteração do horário de funcionamento das UTAN, de modo a não funcionarem dentro deste horário, ou seja, comecem a funcionar apenas às 09:30h e desligando às 20:00h. No caso das UTAN que servem o primeiro piso, não existe qualquer necessidade para estarem a funcionar depois das 18:30h, uma vez que o piso se destina principalmente aos funcionários da biblioteca, pelo que o seu funcionamento ocorreria apenas entre as 09:30h e as 18:30h. O mesmo acontece para a UTAN que serve a sala de exposições, o depósito de publicações, a sala de leitura informal e a sala de fundos especiais.

Admite-se também outro cenário mais radical, Cenário 3.1.1, em que o horário de funcionamento de todas as UTAN passaria a ser das 09:30h até às 18:00h.

Tabela 55 - Horários de funcionamento originais e propostos para cada UTAN

UTAN	Cenário base	Cenário 3.1	Cenário 3.1.1
Oficina de encadernação	08:30h - 21:00h	09:30h - 20:00h	09:30h - 18:00h
Depósito de publicações	08:30h - 21:00h	09:30h - 18:30h	09:30h - 18:00h
Balcão de inf./salão de leitura	08:30h - 21:00h	09:30h - 20:00h	09:30h - 18:00h
Zona de leitura informal	08:30h - 21:00h	09:30h - 18:30h	09:30h - 18:00h
Sala de leitura	08:30h - 21:00h	09:30h - 20:00h	09:30h - 18:00h
Sala de exposições	08:30h - 21:00h	09:30h - 18:30h	09:30h - 18:00h
Balcão de inf./salão de leitura	08:30h - 21:00h	09:30h - 20:00h	09:30h - 18:00h
Sala de fundos especiais	08:30h - 21:00h	09:30h - 18:30h	09:30h - 18:00h

Com estas alterações, no caso do Cenário 3.1, as UTAN passariam a funcionar durante 10 horas e 30 minutos ou 9 horas (dependendo dos espaços que servem), ao contrário das 12 horas e 30 minutos de funcionamento programados inicialmente. Admitindo o segundo cenário, estes equipamentos passariam a funcionar apenas durante 8 horas e 30 minutos.

Com base na estimativa do consumo de cada UTAN descrito anteriormente, torna-se possível estimar a poupança energética associada a estas alterações, admitindo que o consumo das mesmas se mantém constante durante o seu horário de funcionamento:

Tabela 56 - Consumos e poupanças estimadas com a implementação dos Cenários 3.1 e 3.1.1

2017	Cenário base	Cenário 3.1	Cenário 3.1.1
	UTAN	UTAN	UTAN
Consumo anual (kWh)	27874	21815	19018
Custo anual (€)	2 508,66 €	1 963,32 €	1 711,61 €
Poupança anual (kWh)		6059	8856
Poupança anual (€)		545,34 €	797,05 €

Conclui-se que, com a implementação do Cenário 3.1, seria possível uma poupança anual a rondar os 545€. Já o Cenário 3.1.1 permitiria uma poupança anual de quase 800€.

### Cenário 3.2 - Alteração do horário de funcionamento das caldeiras

As caldeiras estão programadas para trabalhar no horário das 08:00h às 22:00h, consoante as necessidades de aquecimento. Contudo, pelas mesmas razões descritas no cenário anterior, torna-se plausível a alteração do horário de funcionamento destes equipamentos, propondo-se dois horários: das 09:00h às 18:00h ou das 09:00h às 20:00h, reduzindo-se respetivamente, três e cinco horas de funcionamento por dia. Contudo, existiram casos em que as caldeiras continuaram a funcionar fora do horário definido. Neste caso, no SGT terão de ser configurados os horários das eletrobombas, uma vez que as caldeiras funcionam em função das mesmas.

Tabela 57 - Setpoints originais e setpoints propostos para o funcionamento da caldeira

Setpoints originais		Setpoints propostos	
Temp. de arranque da caldeira	55°C	Temp. de arranque da caldeira	55°C
Temp. de paragem da caldeira	70°C	Temp. de paragem da caldeira	70°C
Horário de funcionamento	08:00h - 22:00h	Horário de funcionamento	09:00h - 18:00h / 20:00h

Com esta medida, torna-se difícil quantificar a poupança de gás natural que se poderá obter, uma vez que é consumido consoante as necessidades de aquecimento do edifício. O mesmo acontece para o consumo do queimador de gás natural. Contudo, neste caso, analisou-se o volume de gás natural consumido após esta hora, nos meses de novembro, dezembro, janeiro fevereiro e março de 2017, conseguindo-se estimar a poupança associada. No entanto, existiram alguns dias em que as caldeiras funcionaram interruptamente, provavelmente devido a um erro ou engano na configuração do modo de funcionamento das caldeiras (modo manual). Todo o consumo entre as 18:00h/20:00h e as 09:00h foi considerado como sendo volume consumido fora dos setpoints propostos, contabilizando para a poupança estimada. Esta situação ocorreu essencialmente no final do mês de novembro e durante o mês de dezembro.

O cenário 3.2 corresponde a um período de funcionamento das caldeiras entre as 09:00h e as 18:00h. Já o cenário 3.2.1 corresponde ao período entre as 09:00h e as 20:00h.

Tabela 58 - Consumos e poupanças estimadas com a implementação dos Cenários 3.2 e 3.2.1

2017	Cenário base	Cenário 3.2	Cenário 3.2.1
	Caldeiras	Caldeiras	Caldeiras
Consumo anual de gás natural (kWh)	98848,68	56881,04	66798,32
Custo anual (€)	4 828,07 €	2 832,68 €	3 326,56 €
Poupança anual (kWh)	-	41967,64	32050,37
Poupança anual (€)	-	1 995,39 €	1 501,51 €

Com estas alterações horárias, estima-se que seria possível uma redução de 42% com o cenário 3.2 e 32% com o cenário 3.2.1, levando a uma poupança anual de quase 2000€ ou 1500€ respetivamente.

### Cenário 3.3 - Alteração do horário de funcionamento dos chillers

Estes equipamentos estão habilitados das 08:30h às 18:30h, pelo que seria interessante verificar se a inércia térmica do edifício conseguiria garantir as condições de conforto interior se os mesmos estivessem a funcionar apenas desde 09:30h às 17:30h. Contudo, tal não foi verificado, uma vez que não foi utilizada qualquer ferramenta de simulação dinâmica neste trabalho.

Tabela 59 - Setpoints originais e setpoints propostos para o funcionamento dos *chillers*

Setpoints originais		Setpoints propostos	
Temperatura da água á saída	8°C	Temperatura da água á saída	8°C
Horário de funcionamento	08:30h - 18:30h	Horário de funcionamento	09:30h - 17:30h

No entanto, com base no consumo mensal dos chillers, verificado através do SGT, é possível estimar a poupança possível, ao alterar os horários de funcionamento destes equipamentos. Também neste caso, no SGT terão de ser configurados os horários das eletrobombas, uma vez que os chillers funcionam em função do horário de funcionamento das mesmas.

Tabela 60 - Consumo e poupança estimada com a implementação do Cenário 3.3

2017	Cenário base	Cenário 3.3
	Chillers	Chillers
Consumo anual de eletricidade (kWh)	11860,35	9488,28
Custo anual (€)	1 067,43 €	853,95 €
Poupança anual (kWh)		2372,07
Poupança anual (€)		213,49 €

Com esta medida estima-se que seria possível uma redução de 2372kWh no consumo de energia elétrica, correspondendo a uma poupança durante os três meses de funcionamento de 213,49€.

### Cenário 3.4 – Alteração do horário de funcionamento das eletrobombas

Tal como referido anteriormente, todas as alterações acima mencionadas (Cenário 3.2 e 3.3) apenas fazem sentido, se forem também alterados os horários de funcionamento das eletrobombas. Posto isto, as eletrobombas de aquecimento passariam a funcionar das 09:00h às 18:00h ou das 09:00h às 20:00h. Já as eletrobombas do sistema de arrefecimento, passariam a funcionar das 09:30h às 17:30h.

Tabela 61 - Horários de funcionamento originais e propostos para cada conjunto de eletrobombas

Setpoints originais		Setpoints Cenário 3.4		Setpoints Cenário 3.4.1	
Horário de funcionamento (aquec)	08:00h - 22:00h	Horário de funcionamento (aquec)	09:00h - 18:00h	Horário de funcionamento (aquec)	09:00h - 20:00h
Horário de funcionamento (arref)	08:30h - 18:30h	Horário de funcionamento (arref)	09:30h - 17:30h	Horário de funcionamento (arref)	09:30h - 17:30h

Com base nos horários estabelecidos no Cenário 3.4, estima-se que seria possível uma redução no consumo de energia elétrica de 1998kWh, correspondendo a uma poupança anual de 179,82€. Admitindo o cenário 3.4.1, obter-se-ia uma redução de 1548kWh, traduzindo-se em cerca de 139,32€ poupados anualmente.

Tabela 62 - Consumos e poupanças estimadas com a implementação dos Cenários 3.4 e 3.4.1

2017	Cenário base		Cenário 3.4		Cenário 3.4.1	
	Eletrobombas (aquec.)	Eletrobombas (arref.)	Eletrobombas (aquec.)	Eletrobombas (arref.)	Eletrobombas (aquec.)	Eletrobombas (arref.)
Consumo anual de eletricidade (kWh)	2808,00	6075,00	2025,00	4860,00	2475,00	4860,00
Custo anual (€)	252,72 €	546,75 €	182,25 €	437,40 €	222,75 €	437,40 €
Poupança anual (kWh)	-	-	1998,00	-	1548,00	-
Poupança anual (€)	-	-	179,82 €	-	139,32 €	-

#### 4.1.3. Ajuste dos *setpoints* do sistema de climatização

Relativamente a esta medida, apesar de não ser considerada uma medida de eficiência energética, torna-se difícil quantificar as poupanças obtidas, uma vez que as necessidades de aquecimento e arrefecimento variam devido a diversos fatores. Contudo, experimentou-se reduzir o setpoint da temperatura de insuflação das UTAN, com o objetivo de tentar refletir essa alteração nos consumos do gás natural. Realizaram-se quatro alterações durante os meses de janeiro e fevereiro de 2017: estando os setpoints da temperatura de insuflação inicialmente definidos para 22°C, alterou-se os mesmos no dia 03/01/2017 para 21°C; no final do dia 10/01/2017 repetiu-se a mesma operação, reduzindo novamente 1°C, ficando com um setpoint de temperatura de insuflação de 20°C; já no final do dia de 24/01/2017, alteraram-se os setpoints para os que estavam inicialmente definidos, ou seja, 22°C. Para concluir a análise, voltou-se a alterar o setpoints para 20°C no dia final do dia 07/02/2017.

Com estas alterações, foi possível analisar as seguintes variações de consumo de gás natural:

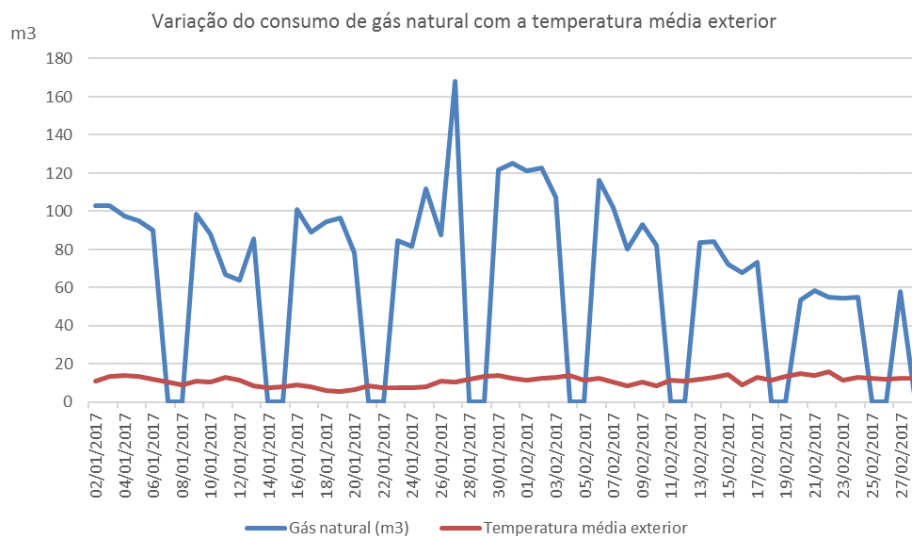


Figura 136 - Variação do consumo de gás natural com a temperatura média exterior

Constata-se que, após se ter reduzido 1°C, existe um ligeiro decréscimo no consumo de gás natural, afirmando-se ainda mais, quando foi novamente reduzido mais 1°C, ou seja, quando se definiram os setpoints para 20°C (10/01/2017).

Após se ter retornado para os valores de temperatura iniciais (22°C) no final do dia 24/01/2017, nota-se uma subida abrupta do consumo de gás natural, sem se notar aumentos de temperatura radicais. Contudo, voltando a reduzir o *setpoint* da temperatura de insuflação para 20°C no dia 07/02/2017, repara-se que o consumo de gás natural diminuiu consideravelmente, notando-se, porém, um ligeiro aumento da temperatura média exterior, que poderá de certo modo ter influenciado este registo.

Conclui-se que se torna muito importante manter o correto funcionamento do controlo do sistema de climatização relativamente aos setpoints de temperatura. As necessidades de água quente e água fria, são calculadas pelo sistema, consoante o *setpoint* de temperatura de insuflação definido, e a temperatura interior das várias zonas, pelo que se não estiverem devidamente configurados, pode causar situações de desconforto térmico e consumos de gás natural desnecessários. Segundo o estudo europeu, Harmonac, estima-se uma poupança de 8,2 kWh/(m<sup>2</sup> .ano) com esta medida.

Seria de igual modo interessante, modificar o controlo do sistema, de modo a poder alterar o valor do setpoint da temperatura de insuflação, dentro de valores pré-definidos, consoante as condições climáticas exteriores, uma vez que a variação da temperatura e da humidade do ar exterior têm influência no consumo de energia. Esta medida, poderá de certa forma reduzir algum consumo, na medida em que poderá haver algum potencial nos dias em que as condições exteriores são atípicas, ou fora do normal. Segundo o estudo europeu, Harmonac, estima-se uma poupança possível de 33,3kWh m<sup>2</sup>.ano.

Outra medida que permite poupar energia elétrica e reduzir o tempo de funcionamento e consequente desgaste das eletrobombas, seria desligar as bombas de circulação quando não são

necessárias, isto é, existem períodos em que não é necessária a circulação de água, uma vez que não são necessárias trocas de calor nas UTAN. O mesmo acontece com os radiadores e os ventilo-convetores. Segundo o estudo europeu, Harmonac, estima-se uma poupança de 8,9kWh/(m<sup>2</sup> .ano).

Posto isto, os parâmetros que são passíveis de ser alterados são os *setpoints* e os controlos horários das UTAN que servem os respetivos espaços, para que seja permitido aos utilizadores do edifício a configuração da temperatura local e obtendo o conforto térmico desejado.

Das várias vezes que se acedeu ao SGT para registo e configuração de alguns parâmetros e dados, reparou-se que existem bastantes erros ou má programação do sistema. Isto porque, os *setpoints* de temperatura fazem *reset* passado algum tempo e á sexta-feira geralmente o sistema funciona até às 22:00h/23:00h, mesmo estando o sistema parametrizado para desligar á hora definida que não essa.

Os *setpoints* nem sempre são configurados da melhor forma, uma vez, que se identificaram casos em que estão a ser solicitados 22°C durante a estação de Inverno, quando para essa época do ano, 19°C ou 20°C são suficientes para o edifício em questão. No decorrer das alterações aos *setpoints* de temperatura, não existiu qualquer queixa ou sinal de desconforto pelos ocupantes da biblioteca. A parametrização dos *setpoints* para valores sobredimensionados provocam o funcionamento excessivo dos equipamentos, acarretando aumentos nos consumos de energia. Para retirar partido do sistema existente, torna-se necessária a sensibilização junto dos operadores do sistema, para que se evite elevar ou baixar muito as temperaturas dentro do edifício, uma vez que não terão qualquer ganho com isso. Durante a época de Verão, poderá ser admissível os 22°C ou mesmo aumentar para 23°C.

O estudo experimental, permitiu concluir que a diminuição de 2°C nos *setpoints* originais na estação de Inverno e o aumento de 1°C na estação de Verão, revela viabilidade de implementação, uma vez que não existiram queixas nem indícios de desconforto por parte dos ocupantes, respeitando o conforto térmico e o menor consumo por parte dos equipamentos.

#### **4.1.4. Equipamentos**

Tal como analisado no capítulo anterior, o setor dos equipamentos representa cerca de 30% do consumo total de eletricidade no edifício. Deste modo, existe potencial para reduzir esta grande fatia do bolo energético, implementando simples gestos de eficiência energética. Apesar de muitas das medidas de eficiência passarem pela seleção e aquisição de equipamentos de classe energética mais elevada, existem outras medidas com elevado potencial de poupança de energia. As medidas propostas, passam pela implementação de rotinas automáticas que permitam reduzir os consumos de energia dos equipamentos em períodos que não estão a ser utilizados, eliminação dos períodos de standby e substituição dos computadores de secretária por computadores portáteis.

Posto isto, apresentam-se as seguintes medidas:

### Cenário 3.5: Hibernação noturna dos computadores de secretária

Neste tipo de edifícios, é usual existirem diversas estações de trabalho em que nem sempre são desligados os computadores no final do dia, consumindo energia desnecessariamente durante o período noturno. De modo a evitar este tipo de situações, propõe-se a criação de uma rotina de hibernação remota, controlada através da rede local. Com isto, pode-se programar a hibernação para as 18:30h, depois do horário de saída dos funcionários do primeiro piso e também em que a ocupação do edifício começa a diminuir. Contudo, caso o utilizador deseje continuar a trabalhar no computador, terá a opção de inibir o começo da rotina de hibernação, caso assim o queira. Pode também existir a opção de criar uma segunda rotina de hibernação, programada para as 22h, horário normal de encerramento da biblioteca durante a semana, caso fique algum computador ligado depois das 18:30h.

Tabela 63 - Horários de funcionamento originais e propostos para os computadores fixos

Cenário base		Cenário 3.5	
Horário de funcionamento	09:00h - 22:00h	Horário de funcionamento	09:00h - 18:30h

Tabela 64 - Consumo e poupança estimada com a implementação do Cenário 3.5

2017	Cenário base	Cenário 3.5
	Computadores fixos	Computadores fixos
Consumo anual (kWh)	31838,40	27680,40
Custo anual (€)	2 865,46 €	2 491,24 €
Poupança anual (kWh)		4158,00
Poupança anual (€)		374,22 €

Todos estes valores foram calculados com base nos dados recolhidos sobre a caracterização energética dos equipamentos no capítulo anterior. Com esta simples medida e com os pressupostos acima assumidos, estima-se uma redução anual de 4158kWh de energia elétrica, correspondendo a uma poupança anual de 374,22€ relativamente aos custos com a energia elétrica.

Aconselha-se também a aquisição de equipamentos com sistemas de poupança de energia (etiqueta Energy Star) e com classe energética A ou superior. Para os utentes e funcionários, os equipamentos deverão ser utilizados de forma racional, desligando-os sempre que não são necessários. Os computadores deverão ser colocados em modo de suspensão, desligando também os ecrãs em interrupções de curta duração. Dever-se-á evitar o modo standby dos equipamentos, desligando-os por completo, recorrendo se necessário a tomadas que desliguem os circuitos.

Por último, seria vantajoso designar uma pessoa, para averiguar se os equipamentos informáticos e audiovisuais estão todos desligados, organizando rotinas periódicas e elaborar uma lista para cada espaço com informação sobre as tecnologias existentes, os consumos associados em funcionamento normal e em standby, e ainda o consumo de energia e o custo e as emissões de CO<sub>2</sub> associadas.



### Cenário 3.6: Desperdício de energia

Através do registo dos consumos de energia elétrica e gás natural, é possível verificar se existiu algum acontecimento, erro, má gestão ou simplesmente esquecimento, por parte do operador do SGT. Tal é possível, analisando o consumo fora do horário de funcionamento, verificando se existiram variações de consumo excessivos, face ao padrão normal. Posto isto, tal como analisado nos diagramas de carga, define-se como desperdício, a energia consumida fora dos horários definidos originalmente no SGT, acima de 10kWh, subtraindo a potência de *baseline*, 6 kWh (média anual).

Pela análise da tabela abaixo, nota-se que os meses onde existiram maiores desperdícios energéticos, foram aqueles onde se requeriam maiores necessidades de climatização, tipicamente nos meses de junho, julho, novembro e dezembro

Tabela 65 - Desperdício estimado do consumo de energia elétrica e gás natural

2017	Energia elétrica desperdiçada (kWh)	Gás natural desperdiçado (kWh)
Janeiro	0,00	1014,00
Fevereiro	0,00	0,00
Março	107,00	2285,73
Abril	338,00	0,00
Maior	384,00	0,00
Junho	1754,00	0,00
Julho	1704,00	0,00
Agosto	489,00	0,00
Setembro	237,00	0,00
Outubro	395,00	0,00
Novembro	724,00	4979,55
Dezembro	3783,00	9297,80
Total	9915,00	17577,08
Custo (€)	892,35 €	875,34 €

Se todos os horários de funcionamento dos equipamentos fossem respeitados, evitando a todo o custo, situações onde os mesmos se encontram ligados durante alguns dias seguidos, ininterruptamente, ter-se-ia uma diminuição do consumo de energia elétrica de aproximadamente 9915 kWh, correspondendo a uma poupança na fatura energética de cerca de 892,35€. Relativamente ao gás natural, a causa destes consumos, que podiam ser evitados, deveu-se ao funcionamento ininterrupto das caldeiras, levando a um consumo excessivo de gás natural, em dias e horas em que a biblioteca se encontrava encerrada. Certamente que o modo de funcionamento do sistema de aquecimento foi alterado para o modo manual, tendo sido apenas alterado para modo automático, bastantes dias depois. Se essas situações fossem evitadas, ter-se-ia uma redução no consumo de gás natural de aproximadamente 1555m<sup>3</sup>, ou seja, 17577,08kWh, correspondendo a uma poupança anual de 875,34€.

## 4.2. Medidas possíveis de implementar com investimento

### 4.2.1. Sistema de climatização

O consumo de energia elétrica do sistema de climatização do edifício representa cerca de 25% do consumo total de energia elétrica. Posto isto, para além das medidas propostas acima, a redução dos consumos energéticos associados à climatização do edifício, pode passar também pelas seguintes sugestões de melhoria:

#### Cenário 4.0 - Substituição das caldeiras a gás natural por outras com rendimento superior

Assumindo que as atuais caldeiras apresentam um rendimento de 80%, o custo associado às mesmas, ou seja, o custo médio relativo ao consumo de gás natural nos últimos quatro anos, é de 4899,00 €. Neste caso, admitimos que este consumo/custo se deve apenas a uma caldeira.

Para avaliar a viabilidade do Cenário 4.0, identificou-se uma caldeira a gás natural da marca Alubongas, modelo BTQ 448 3S, com uma potência nominal de 150kW. A caldeira apresenta uma eficiência de 107,5% a 30% da potência máxima e 97,8% funcionando à potência máxima.

Assumindo que a instalação seria feita por parte dos SGTL, o custo total para adquirir as duas caldeiras seria de 14 486,00€, correspondendo ao preço das caldeiras, dos queimadores a gás natural, rampas de gás e os quadros de comando.

Tabela 66 – Viabilidade técnica e económica da implementação do Cenário 4.0

2017	Cenário base	Cenário 4.0
	Caldeira	Caldeira nova
Consumo anual (kWh)	98848,68	81777,61
Custo anual (€)	4 899,00 €	3 999,18 €
Poupança anual (kWh)		17071,08
Poupança anual (€)		899,82 €
Investimento inicial		14 486,00 €
Período de retorno (anos)		16,1

Se fosse efetuada a substituição da caldeira, para uma com um rendimento de aproximadamente 96%, passaríamos a ter um custo anual de aproximadamente 4 052,95€, representando uma economia de 846,05€ por ano.

Após análise, conclui-se que o retorno seria apenas recuperado passado 16 anos, período muito longo para os equipamentos em causa. Deste modo, é preferível que as caldeiras fiquem obsoletas, deixando de funcionar, para proceder à instalação de equipamentos novos. Se porventura, fosse instalado apenas uma caldeira nova, substituindo as duas anteriores, o período de retorno do investimento seria metade do acima indicado, ou seja, 8 anos.

#### **Cenário 4.1 - Substituição das bombas de circulação do sistema de arrefecimento com rendimento IE1 para IE4**

A portaria EUp sobre motores elétricos é a legislação da EU que estabelece os requisitos de eficiência energética para quase todos os motores na faixa de potência de 0,75kW a 375kWh. Desde 2017, todos estes motores devem cumprir a norma IE3, ou o padrão IE2 equipado com uma unidade de frequência variável.

Posto isto, uma vez que os bombas de circulação do sistema de arrefecimento, cumprem apenas com a norma IE1, propõe-se a substituição das mesmas, instalando bombas com a norma IE4. De acordo com a norma IEC 60034-30-1, os motores com 3kW de potência nominal e com 4 polos, deverão possuir um rendimento de 90,4% caso seja IE4, ou então 87,7% se for IE3.

Sendo as bombas atuais IE1, assume-se que apresentam um rendimento de 85%. Deste modo, tem-se:

Tabela 67 - Consumo e poupança estimada com a implementação do Cenário 4.1

2017	Cenário base	Cenário 4.1
	Bombas IE1	Bombas IE4
Consumo anual (kWh)	6075,00	5712,11
Custo anual (€)	546,75 €	514,09 €
Poupança anual (kWh)		362,89
Poupança anual (€)		32,66 €

Com a alteração das bombas, estima-se uma redução de consumo de aproximadamente 362,89kWh, levando a uma poupança anual de 32,66€. Contudo, não se tem em conta a capacidade destes sistemas modernos em otimizar o funcionamento destes equipamentos, pelo que se torna possível atingir poupanças maiores.

Contudo, neste cenário, não se justifica, para já, a instalação deste tipo de equipamentos, uma vez que trabalham relativamente poucas horas durante o ano, nomeadamente nos meses em que o sistema de arrefecimento se encontra ligado. Contudo, deve-se ter em conta futuramente a sua instalação, uma vez que se torna requisito obrigatório e são equipamentos muito mais eficientes.

#### **Cenário 4.2- Substituição das caldeiras a gás natural por caldeiras a biomassa**

Neste cenário, pretende-se avaliar a viabilidade da substituição das caldeiras a gás natural existentes no edifício, por caldeiras a pellets. Esta medida valoriza e promove a sustentabilidade e a eficiência energética ao mesmo tempo que despromove a utilização de combustíveis fósseis. Para isto, será necessário conhecer as necessidades energéticas do edifício e os consumos de combustível a pellets, a fim de encontrar a melhor solução para a troca das caldeiras. Para este cenário, não se teve em consideração os custos de manutenção, custos de desmantelamento das caldeiras atuais, custos de instalação nem taxas de inflação dos combustíveis, ou seja, considerou-se apenas o custo dos equipamentos.

Posto isto, com base na potência das caldeiras instaladas no edifício, propõe-se a substituição das duas caldeiras a gás natural, por uma caldeira a pellets de 180kW de potência, da marca Moderator AZSB 180.

O grupo de queima automático de Biomassa Moderator AZSB é composto por uma caldeira com 180 kW, um queimador e um silo (4m<sup>3</sup>). O queimador de ferro fundido é um aparelho moderno concebido para queima de combustíveis como: madeira, aparas de madeira, pellets, caroço de azeitona, casca de árvore, entre outros. Existem ainda opções adicionais [84].



Figura 137 - Grupo de queima automático de Biomassa Moderator AZSB

A caldeira selecionada apresenta os seguintes dados técnicos [84]:

Tabela 68 - Características técnicas do grupo de queima de biomassa

Dados técnicos	Unidade	Valor
Potência Útil Nominal	kW	180
Potência Útil Mín.	kcal/h	129
Consumo de combustível	kg/h	37,02
Rendimento	%	85
Temperatura dos gases	°C	150-90
Peso	kg	1450
Volume de água no corpo	dm <sup>3</sup>	500
Diâmetro saída de fumos mm	mm	350
Pressão de trabalho Máx.	bar	3
Temperatura Máx. de trabalho	°C	85
Temperatura Mín. de trabalho	°C	55
Depressão	Pa	30
Ligações Impulsão	"	2"
Ligações Retorno	"	2"
Alimentação Elétrica	V/Hz	230/50
Potência elétrica instalada (s/ Acendimento Auto)	kW	0,74
Potência elétrica instalada (c/ Acendimento Auto)	kW	1,1

- **Combustível necessário**

Com a análise dos consumos de gás natural na biblioteca da UA, correspondentes ao ano de 2017, admite-se o valor do consumo em m<sup>3</sup> de gás e em kWh correspondente. O valor do PCS (Poder calorífico superior) do gás natural, 11,68 kWh/m<sup>3</sup>, foi retirado a partir dos dados da EDP Gás

Distribuição em 2017, tal como do FCV do gás natural. Relativamente ao valor do PCS dos pellets, admite-se que seja de 18 MJ/ kg, o equivalente a 5 kWh/kg.

Para se calcular o valor estimado do consumo de pellets necessário para substituir a quantidade de energia em kWh consumida em 2017, é necessário saber os rendimentos das caldeiras em questão. Como referido anteriormente, assume-se que as caldeiras a gás natural, sendo já antigas, têm um rendimento de 80%. Relativamente à caldeira a pellets, as mesmas possuem um rendimento de 85%. Uma vez sabendo o consumo de gás natural em 2017, bem como o valor de PCS do gás natural e dos pellets, torna-se possível determinar a quantidade de pellets necessária, para substituir o gás natural consumido, usando as equações:

$$\begin{aligned} & \text{Consumo} \left( \frac{m^3}{ano} \right)_{gás} \times PCS_{gás} \times FCV_{gás} \times \eta_{c.GN}(\%) \\ &= \text{Consumo} \left( \frac{kg}{ano} \right)_{pellets} \times PCS_{pellets} \times \eta_{c.pellets}(\%) \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} & \text{Consumo} \left( \frac{m^3}{ano} \right)_{gás} \times PCS_{gás} \times FCV_{gás} \times \eta_{c.GN}(\%) = \text{Consumo} \left( \frac{kWh}{ano} \right)_{gás} \\ & \text{Consumo} \left( \frac{kg}{ano} \right)_{pellets} \times PCS_{pellets} \times \eta_{c.pellets}(\%) = \text{Consumo} \left( \frac{kWh}{ano} \right)_{pellets} \end{aligned}$$

O consumo em kWh de gás natural, em 2017 no edifício, foi de 96949,18kWh. Como 1 kWh = 3,6 MJ, e  $PCS_{pellets} = 18 \text{ MJ/kg}$ , então tem-se:

$$\begin{aligned} & \text{Consumo} \left( \frac{m^3}{ano} \right)_{gás} \times PCS_{gás} \times FCV_{gás} \times \eta_{c.GN}(\%) \\ &= \text{Consumo} \left( \frac{kg}{ano} \right)_{pellets} \times \frac{PCS_{pellets}}{3,6} \times \eta_{c.pellets}(\%) \\ &\Leftrightarrow 96949,18 = \text{Consumo} \left( \frac{kg}{ano} \right)_{pellets} \times \frac{18}{3,6} \times 0,85 \\ &\Leftrightarrow \text{Consumo} \left( \frac{kg}{ano} \right)_{pellets} = 22811,57 \left( \frac{kg}{ano} \right) \end{aligned}$$

Conclui-se que seriam necessários 22811,57 kg/ano, ou seja, 22,8 toneladas de pellets por ano para alimentar a caldeira. Assumindo o mesmo tempo de funcionamento que as caldeiras a gás natural, isto é, 5 meses em operação, resultaria num consumo de 4,6 toneladas de pellets por mês, 204kg por dia ou 14,6kg por hora. Com base nos dados técnicos das caldeiras, o consumo de combustível á potência máxima, 37,02kg/h, serve para garantir alguma segurança para possíveis picos de consumos/necessidades energéticas.

Pretende-se que o abastecimento dos silos seja de forma automática, efetuada por um camião de transporte, através de uma mangueira pneumática. O silo possui uma capacidade de 4 toneladas, quase suficiente para acomodar as necessidades mensais da caldeira. Deste modo, seriam ainda necessários cerca de 40 sacos de 15kg mensais para colmatar os 600kg de necessidades mensais que o silo não consegue assegurar, uma vez que tem capacidade apenas para 4 toneladas. Para calcular o consumo teórico mínimo, necessário para a caldeira, utilizou-se o valor da quantidade de pellets necessária, bem como o número de horas e dias de utilização por ano da mesma. Tal com mencionado no capítulo anterior, as caldeiras atuais estão previstas funcionarem durante os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, trabalhando das 08:00h às 22:00h de segunda-feira a sexta-feira, ou seja, 14 horas de funcionamento diário. Com isto, estima-se que a caldeira esteja em funcionamento, cerca de 1575 horas por ano.

- **Preço do combustível**

Após várias pesquisas, obteve-se a informação de que o preço por tonelada transportada e distribuída a granel é de 125€ + IVA (Gesfinu), sendo que o preço da paleta de 80 sacos de 15kg pellets transportada rondará os 150€. Sendo assim, obtém-se um custo anual de 2 875 €/ano + IVA.

Tabela 69 - Consumo e poupança estimada com a implementação do Cenário 4.2

2017	Cenário base	Cenário 4.2
	Caldeiras atuais	Caldeira a pellets
Consumo anual (kWh)	96949,00	-
Custo anual (€)	4 899,00 €	2 875,00 €
Poupança anual (€)		2 024,00 €
Investimento inicial		27 454,05 €
Período de retorno (anos)		13,6

Posto isto, com a implementação desta solução, estima-se que seria possível atingir economias de aproximadamente 2 024€ anuais, ou seja, o consumo e os custos energéticos associados a este equipamento diminuiriam cerca de 41%. Com base na solução escolhida, observa-se que o período de retorno do investimento em causa, será de aproximadamente 13,6 anos, permitindo após este período, receitas na ordem dos 2 024€ anuais comparando com o sistema atual.

#### 4.2.2. Sistema de iluminação

Os consumos do sistema de iluminação do edifício representam cerca de 45% do consumo total de energia elétrica do edifício, conforme analisado no capítulo anterior. No entanto, é possível otimizar este consumo despendido na iluminação, analisando a possibilidade de implementação soluções mais eficientes.

### Cenário 4.3 - Substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas LED

Se as alterações nas armaduras forem simples e puderem ser efetuadas pelos funcionários da UA, a solução proposta passa pela substituição progressiva da iluminação existente por iluminação do tipo LED, pelo facto de apresentar uma maior eficiência e um menor consumo de energia elétrica. Considerando as diferentes tipologias, quantidades de lâmpadas apresentadas e as potências das lâmpadas LED, são atualizados os valores de potência de iluminação referentes aos espaços do edifício. Esta análise, engloba as alterações já realizadas ao nível das estantes em todos os pisos. Foram selecionadas lâmpadas equivalentes em termos de potência e luminosidade relativamente às soluções atuais.

No primeiro piso, propõe-se a troca das 34 lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 58W na sala de Depósitos e Publicações por tubos LED T8 de 20,5W com as mesmas dimensões. Nas instalações sanitárias, sugere-se a troca das atuais lâmpadas fluorescentes compactas de 18W e 13W, por lâmpadas LED de 6,5W e 4,5W respetivamente. Já nos restantes espaços (gabinetes, salas de trabalho, de reuniões, de formação e zonas de circulação), onde se encontram instaladas as lâmpadas fluorescentes compactas de 36W, propõe-se a troca das mesmas, por lâmpadas LED de 16,5W.

No segundo piso, para além da substituição já efetuada das lâmpadas fluorescentes tubulares de 36W por réguas LED, propõe-se a substituição das lâmpadas fluorescentes compactas de 24W presentes nas bancadas dos salões de leitura, por lâmpadas LED de 9W. Para além disso, tal como no primeiro piso, sugere-se a troca de todas as lâmpadas fluorescentes compactas de 36W presentes nas zonas de circulação, sala de exposições e no bengaleiro, por lâmpadas LED equivalentes de 16,5W. Por último, também á semelhança do primeiro piso, sugere-se a substituição das lâmpadas fluorescentes compactas de 18W e 13W presentes nas instalações sanitárias, por lâmpadas LED de 8,5W e 6,5W respetivamente.

Já no terceiro e quarto pisos, as alterações propostas são em tudo idênticas às que foram descritas acima.

Tabela 70 - Lâmpadas LED propostas para o Cenário 4.3

	Marca	Modelo	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Qtd.	Preço (€)
Lâmpada atual	Philips	TL-D	58	5240	90	34	-
Lâmpada proposta	Osram	SubstiTUBE Advanced HF LED	20,5	3100	151	34	29,35 €
Lâmpada atual	Osram	DULUX L LUMILUX	36	2900	81	244	-
Lâmpada proposta	Osram	Philips CorePro PL-L HF LED	16,5	2100	127	244	23,95 €
Lâmpada atual	Philips	PL-L 24W/830	24	1800	75	160	-
Lâmpada proposta	VOLTACON LED	PL-L 2G11	9	855	105	160	17,99 €
Lâmpada atual	Osram	DULUX T PLUS	18	1200	67	32	-
Lâmpada proposta	Philips	Philips CorePro PL-C LED	8,5	900	100	32	14,41 €
Lâmpada atual	Osram	DULUX D	13	900	69	16	-
Lâmpada proposta	Philips	Philips CorePro PL-C LED	6,5	650	106	16	11,95 €
							<b>10 372,42 €</b>

Com base nos preços unitários das lâmpadas, é possível calcular o investimento necessário para proceder às alterações das mesmas, tendo-se chegado a um investimento inicial de 10 372,42€. Este custo reflete apenas o custo das lâmpadas, admitindo que a Universidade tem pessoas qualificadas para proceder à instalação das mesmas. Com base no valor do investimento anual, calcula-se o período de retorno do investimento

Dado isto, admitindo a implementação do Cenário 4.3, seria possível uma redução de 27191,08kWh de energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação, levando a uma poupança anual de cerca de 2447,20€.

Tabela 71 - Viabilidade técnica e económica da implementação do Cenário 4.3

2017	Cenário base	Cenário 4.3
	Iluminação atual	Iluminação LED
Consumo anual (kWh)	88764,81	61573,73
Custo anual (€)	7 988,83 €	5 541,64 €
Poupança anual (kWh)		27191,08
Poupança anual (€)		2 447,20 €
Investimento inicial (€)		10 372,42 €
Período de retorno (anos)		4,2

A solução proposta, tem um período de retorno do investimento, de aproximadamente 4,2 anos. Considerando a média de horas de vida destas lâmpadas (3000-50000h), conclui-se que a implementação deste cenário, traria grandes benefícios em termos de poupança energética.

Nesta análise do consumo do sistema de iluminação, composta essencialmente por lâmpadas LED, será expetável um consumo de aproximadamente 61790,54kWh anuais. Conclui-se, portanto, uma possível redução de aproximadamente 30,1 % do consumo de energia elétrica associado ao sistema de iluminação do edifício, em contraste com os 88764,81kWh/ano atuais. No entanto, procedendo a estas alterações, não é, por si só, razão para que ocorra redução na fatura energética do edifício, uma vez que apesar da iluminação LED estar associada a uma maior eficiência energética e a uma consequente redução da energia consumida, o facto de haver menor potência dissipada pelas lâmpadas diminui a carga de aquecimento dos espaços em que estão inseridas. Deste modo, pode ser exigido ao sistema de climatização condições de funcionamento diferentes, levando a um maior consumo de energia para que seja compensada a carga térmica perdida.

Para além das medidas acima propostas, torna-se também necessário um melhor controlo do sistema de iluminação, uma vez que existem bastantes espaços com baixa ocupação e com a iluminação ligada durante todo o horário de funcionamento da biblioteca. Posto isto, recomendam-se soluções simples e pouco dispendiosas, que possam diminuir o tempo de funcionamento destes equipamentos.



#### Cenário 4.4: Instalação de sensores de movimento nas instalações sanitárias

Uma vez que a iluminação nas instalações sanitárias está ininterruptamente ligada durante todo o horário de funcionamento do edifício, aliada a uma ocupação pontual dos utilizadores, propõe-se a instalação de sensores de movimento nestes espaços.

Neste caso, pode-se admitir dois cenários: o Cenário 4.3 aliado ao Cenário 4.4, ou apenas a implementação do Cenário 4.4 no sistema atual. Assumiu-se que com a instalação dos detetores de movimento, o tempo de funcionamento das lâmpadas nestes espaços passaria a ser de 4 horas por dia, de segunda-feira a sexta-feira e 2 horas e 30 minutos ao sábado.

A solução tecnológica encontrada para esta cenário, prende-se com a instalação de sensores de movimento de teto infravermelhos, com um ângulo de visão de 360°. Optou-se pelo modelo SEKKYUR-C, com um preço unitário de 11,99€.

Tabela 72 - Viabilidade técnica e económica da implementação dos Cenários 4.3+4.4 e 4.4

2017	Cenário base	Cenário 4.3 + Cenário 4.4		Cenário 4.4
	Instalações sanitárias	I.S. com sensores de movimento + LED	I.S. com sensores de movimento	
Consumo anual de eletricidade (kWh)	2828,13	311,85		873,18
Custo anual (€)	254,53 €	28,07 €		78,59 €
Poupança anual (kWh)	-	2516,28		1954,95
Poupança anual (€)	-	226,47 €		175,95 €
Investimento inicial (€)			95,92 €	
Período de retorno (anos)		0,4		0,5

Com a implementação do Cenário 4.4, isto é, com a instalação dos sensores de movimento nas instalações sanitárias, estima-se uma redução do consumo de energia elétrica de aproximadamente 1954,95kWh, correspondendo a uma poupança anual de 175,95€.

Se o Cenário 4.3 também for implementado, ou seja, iluminação nas instalações sanitárias com recurso a lâmpadas LED, a redução do consumo é de 2516,28kWh, levando a uma poupança anual de 226,47€.

Com base na análise efetuada, a medida proposta teria um período de retorno de investimento bastante baixo, 5 ou 6 meses, dependendo do cenário admitido, pela que se conclui que a instalação destes equipamentos permitiria reduzir parte do consumo de energia elétrica do edifício sem grande investimento financeiro.

#### Cenário 4.5: Instalação de sensores de luminosidade e movimento nas zonas de circulação e salas de estudo de grupo

Após várias visitas ao edifício, verificou-se um potencial de otimização ao nível da iluminação nas zonas de circulação e nas salas de estudo de grupo. Nesses espaços, a iluminação também se encontra ligada durante todo o horário de funcionamento da biblioteca, desnecessariamente, pelo que se torna útil a instalação de sensores de presença, de modo a conseguir-se minimizar os consumos de energia associados á iluminação nessas zonas, pela não utilização da mesma quando não existe

qualquer ocupação nessas áreas. Os detetores de presença reagem aos movimentos e medem a luz ambiente continuamente comparando-a com o nível pré-selecionado. A iluminação é ligada quando o nível de iluminação desce abaixo do nível definido e durante a presença de pessoas. Se existir luz suficiente, a iluminação é automaticamente desligada mesmo na presença de pessoas no local.

Nos dois primeiros pisos, não se justifica a instalação de sensores de presença nas zonas de circulação, uma vez que correspondem maioritariamente ao hall de entrada, em que existe um grande fluxo de pessoas (segundo piso) e zonas de passagem constantes de funcionários da biblioteca (primeiro piso).

No terceiro piso, propõe-se a instalação destes equipamentos em todas as salas de estudo de grupo e nas zonas de acesso aos mesmos, e aos gabinetes de estudo individuais. Já no quarto piso, apenas se justifica a instalação destes sensores nas zonas de circulação para os gabinetes de estudo individuais.

Tal como no caso anterior, admite-se dois cenários: o Cenário 4.3 aliado ao Cenário 4.5, ou apenas a implementação do Cenário 4.5 no sistema atual. Assumiu-se que com a instalação dos detetores de presença, o tempo de funcionamento das lâmpadas nestes espaços passaria a ser de aproximadamente 9 horas por dia, de segunda-feira a sexta-feira e 4 horas ao sábado no caso das zonas de circulação. Relativamente às salas de estudo em grupo, devido á sua muito baixa ocupação, estima-se um período de funcionamento de 4 horas de segunda a sexta-feira e 1 hora ao sábado.

Neste cenário, propôs-se a instalação de sensores de presença da marca Xindar, modelo FUKASHY, com controlo do nível de iluminação entre 3 e 2000lux, com um ângulo de visão de 360°. Cada sensor apresenta um preço unitário de 26,99 €, sendo que seriam necessários 18 sensores, admitindo que, devido aos circuitos elétricos do sistema de iluminação, seria necessário um sensor para cada lâmpada

Tabela 73 - Viabilidade técnica e económica da implementação dos Cenários 4.3+4.5 e 4.5

2017	Cenário base	Cenário 4.3 + Cenário 4.5	
	Z.C + Gabinetes Grupo	Z.C + Gabinetes Grupo c/sensores presença	Cenário 4.5 Z.C + Gabinetes Grupo c/sensores presença
Consumo anual de eletricidade (kWh)	3599,64	310,47	677,39
Custo anual (€)	323,97 €	27,94 €	60,97 €
Poupança anual (kWh)	-	3289,17	2922,25
Poupança anual (€)	-	296,03 €	263,00 €
Investimento inicial (€)		485,82 €	
Período de retorno (anos)		1,6	1,8

Com a implementação do Cenário 4.5, isto é, com a instalação dos sensores de presença nas zonas de circulação para os gabinetes de estudo e nas salas de estudo de grupo, seria possível uma redução do consumo de energia elétrica de aproximadamente 2922,25kWh, correspondendo a uma poupança anual de 263€. Se o Cenário 4.3 também for implementado, a redução do consumo pode atingir os 3289,17kWh, levando a uma poupança anual de 296,03€. Será importante referir que as horas de funcionamento da iluminação, com os sensores de presença e movimento instalados, foram estimados com base nas visitas aos locais, identificando os perfis de ocupação dos mesmos.

Observa-se que o período de retorno do investimento com a implementação do cenário 4.5 e com o cenário 4.3 já implementado, seria de 19 meses. Se porventura, fosse implementado apenas o

cenário 4.5, o retorno financeiro teria um período de quase 22 meses. Posto isto, conclui-se que esta medida seria benéfica em termos energéticos, tanto pela poupança anual que acarreta, como pelo baixo período de retorno financeiro.

#### Cenário 4.6: Regulação de Luminosidade nas estantes dos salões de leitura

Para tirar proveito da área de envidraçados existentes no edifício, aliada à existência de claraboias no quarto piso, propõe-se a instalação de sensores de luminosidade a fim de regular o fluxo luminoso das lâmpadas LED instaladas nas estantes. A instalação dos mesmos deverá ser aplicada nas estantes grandes do salão de leitura do segundo piso, nas estantes grandes do lado oeste do salão de leitura do terceiro piso, uma vez que não existem janelas do lado nascente, e por último, no quarto piso, nas estantes de ambos os lados do salão de leitura. Este último, não possui janelas, mas recebe iluminação das 27 claraboias instaladas no topo do edifício, garantido também, iluminação para os restantes pisos, por meio das aberturas existentes entre os pisos.

É possível tirar um grande proveito da luz natural, uma vez que existiriam horas em que a iluminação nestas zonas estaria desligada, pois não existe necessidade para tal. Contudo, aconselha-se a simulação destes dados num programa de simulação, como por exemplo o dialux, para obter resultados mais concretos e fiáveis. Efetuando uma análise pouco aprofundada e presumindo um cenário algo pessimista, assume-se que a existência de necessidade de regulação do fluxo luminoso nessas zonas, ocorre apenas durante os meses de maio, junho, julho, setembro e metade dos meses de abril e outubro. Assumiram-se os seguintes pressupostos, sendo que a regulação corresponde à percentagem de potência consumida.

Tabela 74 - Pressupostos assumidos para regulação da iluminação

Localização	Orientação	Horário semana	Horário fim de semana	Regulação (%)	Horas/dia	Horas/fds
17.2.0 - Biblioteca (estantes)	Nacente	09:00h - 11:00h / 16:00h - 22:00h	09:00h - 11:00h / 16:00h - 18:00h	100%	8	4
	Nascente	11:00h - 16:00h	11:00h - 16:00h	50%	5	5
	Poente	09:00h - 12:00h / 16:00h - 22:00h	09:00h - 12:00h / 16:00h - 22:00h	100%	9	5
	Poente	12:00h - 16:00h	12:00 - 16:00	50%	4	4
17.2.0 - Biblioteca (estantes)	Poente	09:00h - 12:00h / 16:00h - 22:00h	09:00h - 12:00h / 16:00h - 22:00h	100%	9	5
	Poente	12:00h - 16:00h	12:00 - 16:00	50%	4	4
	Nascente	09:00h - 22:00h	09:00h - 22:00h	100%	13	9
17.2.0 - Biblioteca (estantes)	Nascente e Poente	09:00h - 11:00h / 17:00h - 22:00h	09:00h - 11:00h / 17:00h - 18:00h	100%	7	3
	Nascente e Poente	11:00 - 17:00	11:00 - 17:00	50%	6	6

Tal como nos cenários anteriores, efetuou-se um estudo de mercado, de modo a encontrar a solução tecnológica mais adequada para regular automaticamente a intensidade da iluminação das lâmpadas montadas nas estantes dos salões de leitura. Propõe-se deste modo, o sistema Actilume 1-10V da Philips, tendo este, capacidade para regular o nível de iluminação artificial, consoante as condições de luz natural nos diferentes espaços, a fim de garantir em todos os locais de trabalho um nível de iluminação mínimo recomendado pela norma. Este sistema possui também a capacidade de desligar o sistema de iluminação na ausência de movimento. Contudo, esta característica não foi tida em conta, no cálculo da estimativa da poupança anual.

Este sistema é basicamente constituído por um sensor, uma unidade de controlo que tanto pode ser controlado por um interruptor de parede para efetuar um controlo manual ou por controlo remoto. Já o sensor, combina três tecnologias: sensor fotoelétrico, sensor de movimento e sensor infravermelho.

O sistema ActiLume da Philips é então composto por um controlador ActiLume LCC1655/00 e um sensor ActiLume LRI1655/00, estando este normalmente embutido na luminária para uma altura de montagem entre 2,5 e 3,5 metros. Contudo, e uma vez que as réguas LED estão montadas em cima das estantes, aconselha-se a instalação dos sensores no teto, por cima das zonas de trabalho. Na tabela seguinte encontram-se referidos os componentes necessários ao sistema ActiLume e os seus preços unitários e totais para a implementação do projeto.

Tabela 75 - Equipamentos propostos para implementação do Cenário 4.6

Equipamento	Descrição	Qtd.	Preço unitário (€)	Preço (€)
Sensor LRI1655/00	Sensor ActiLume 1-10V	34	53,00 €	1 802,00 €
Controlador LCC1655/00	Controlador ActiLume 1-10V	5	45,00 €	225,00 €
LCA 8004/00	Capa ActiLume ampliação (50 pcs)	1	180,00 €	180,00 €
LCA 8001/00	Aro de Capa (100 pcs)	1	150,00 €	150,00 €
				<b>Total = 2 357,00 €</b>

O custo de implementação do sistema ActiLume da Philips é de aproximadamente 2 357,00€, sendo que o custo de mão-de-obra para a instalação do sistema não foi considerado, uma vez que se admite novamente que a UA integra nos seus quadros, pessoal técnico qualificado para proceder à instalação dos equipamentos.

Com a implementação de um sistema de controlo de iluminação nas estantes dos salões de leitura e assumindo os pressupostos acima indicados, estima-se que seria possível uma redução de 3823,38kWh de energia elétrica consumida, levando a uma poupança de aproximadamente 344,10€ apenas nos 5 meses em questão.

Tabela 76 - Viabilidade técnica e económica da implementação do Cenário 4.6

2017	Cenário base	Cenário 4.6
	Iluminação - estantes	Iluminação c/ regulação - estantes
Consumo em 5 meses (kWh)	18621,90	14798,52
Custo (€)	1 675,97 €	1 331,87 €
Poupança (kWh)		3823,38
Poupança (€)		344,10 €
Investimento inicial (€)		2 357,00 €
Período de retorno (anos)		6,8

Deste modo, prevê-se um retorno do investimento a partir dos 6,8 anos, considerando, contudo, que o sistema só é utilizado durante cinco meses do ano (assumiu-se um cenário pouco favorável). Apesar de o período de retorno ser algo elevado, considera-se que esta medida seria bastante proveitosa, uma vez que a regulação da iluminação pode ocorrer durante os onze meses de funcionamento da biblioteca, reduzindo consideravelmente a energia consumida do sistema, reduzindo deste modo o período de retorno de investimento financeiro.

Contudo, volta-se a referir que este estudo deve ser analisado com maior detalhe com um programa de simulação, com base na área de envidraçados, dados climáticos, sombreamentos, áreas, tipo de atividades por zona, entre outros.

### 4.2.3. Equipamentos

#### Cenário 4.7 - Substituição dos computadores de secretária dos funcionários por computadores portáteis

Admitindo que a biblioteca possui cerca de 20 funcionários a trabalhar diariamente, de segunda-feira a sexta-feira no período das 09:00h às 18:00h com computadores de secretária, propõe-se a substituição destes equipamentos por computadores portáteis, uma vez que são mais práticos e consomem menos energia elétrica.

Tabela 77 - Viabilidade técnica e económica da implementação do Cenário 4.7

2017	Cenário base	Cenário 4.7
	Computadores fixos	Computadores portáteis
Consumo anual (kWh)	14256,00	4766,85
Custo anual (€)	1 283,04 €	429,02 €
Poupança anual (kWh)		9489,15
Poupança anual (€)		854,02 €
Investimento inicial (€)		4 500,00 €
Período de retorno (anos)		5,3

Assume-se que o preço unitário de cada computador portátil é de 300€, pelo que para efetuar a substituição dos equipamentos na sua totalidade, seria necessário um investimento de aproximadamente 4500€. Com isto, estima-se uma redução do consumo energético de cerca de 9489,15kWh, conduzindo a uma poupança anual de 854€. O período de retorno deste investimento situa-se nos 5,3 anos.

### 4.3. Resumo e recomendações das medidas propostas

Após a análise técnica e económica das medidas propostas, torna-se possível indicar quais as medidas mais rentáveis, que poderão trazer maiores benefícios em termos de redução de consumos energéticos. Relativamente às medidas que não requerem qualquer investimento monetário, é possível estimar o total de poupança anual que pode ser atingido. Refira-se que a implementação de algumas medidas tanto pode requerer a implementação ou a não implementação de outras medidas.

Tabela 78 - Resumo das medidas propostas sem investimento

Medidas sem investimento				
Cenário	Descrição	Poupança anual (kWh)	Poupança anual (€)	Redução de CO2 (ton)
Cenário 1	Eliminação do consumo de energia elétrica nas horas de ponta	12325,00	1 191,50 €	4,44
Cenário 2	Passagem e eliminação de consumos nas horas de ponta para as horas de cheia	2556,00	252,81 €	0,92
Cenário 3.1	Alteração do horário de funcionamento das UTAN	6059,00	545,34 €	2,18
Cenário 3.1.1	Alteração do horário de funcionamento das UTAN	8856,00	797,05 €	3,19
Cenário 3.2	Alteração do horário de funcionamento das caldeiras	41967,64	1 995,39 €	8,48
Cenário 3.2.1	Alteração do horário de funcionamento das caldeiras	32050,37	1 501,51 €	6,47
Cenário 3.3	Alteração do horário de funcionamento dos chillers	2372,07	213,49 €	0,85
Cenário 3.4	Alteração do horário de funcionamento das eletrobombas	1998,00	179,82 €	0,72
Cenário 3.4.1	Alteração do horário de funcionamento das eletrobombas	1548,00	139,32 €	0,56
Cenário 3.5	Hibernação noturna dos computadores de secretária	4158,00	374,22 €	1,50
-	Desperdício de energia	27492,08	1 767,69 €	7,12

Posto isto, apresenta-se um cenário global, com um conjunto de medidas possíveis de serem implementadas sem qualquer investimento:

Tabela 79 - Conjuntos de cenários possíveis de implementar em simultâneo sem investimento

Cenário global sem investimento				
Cenário	Descrição	Poupança anual (kWh)	Poupança anual (€)	Redução de CO2 (ton)
Cenário 3.1.1	Alteração do horário de funcionamento das UTAN	8856,00	797,05 €	3,19
Cenário 3.2	Alteração do horário de funcionamento das caldeiras	41967,64	1 995,39 €	8,48
Cenário 3.3	Alteração do horário de funcionamento dos chillers	2372,07	213,49 €	0,85
Cenário 3.4	Alteração do horário de funcionamento das eletrobombas	1998,00	179,82 €	0,72
Cenário 3.5	Hibernação noturna dos computadores de secretária	4158,00	374,22 €	1,50
<b>Total</b>		<b>59351,71</b>	<b>3559,97</b>	<b>14,74</b>

Adotando o conjunto de medidas presentes na tabela acima, estima-se uma redução no consumo energético de aproximadamente 59351,71kWh por ano, correspondendo a uma poupança de 3559,97€. A redução de CO<sub>2</sub> associada a este conjunto de medidas seria de 14,74 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Uma vez que as poupanças anuais associadas às alterações dos horários de funcionamento dos equipamentos, já incluem os consumos ocorridos fora dos horários de funcionamento iniciais, não se incluíram as reduções e as poupanças relativas ao desperdício de energia. Contudo, este indicador permite espelhar a má utilização e configuração destes equipamentos.

Todas estas medidas não apresentam qualquer entrave na sua implementação, uma vez que requerem apenas alguns ajustes na configuração horária no SGT. Posto isto, entende-se que adoção de estas medidas trariam vantagens e benefícios claros que conduziram á redução da fatura energética do edifício.

Quanto às medidas que requerem investimento monetário, as mesmas estão resumidas na tabela abaixo:

Tabela 80 - Resumo das medidas propostas com investimento

Medidas com investimento						
Cenário	Descrição	Poupança anual (kWh)	Poupança anual (€)	Investimento inicial (€)	Período de retorno financeiro (anos)	Redução de CO <sub>2</sub> anual (ton)
Cenário 4.0	Substituição das caldeiras a gás natural por umas com rendimento mais elevado	17071,08	899,82 €	14 486,00 €	16,10	3,45
Cenário 4.1	Substituição das bombas de circulação do sistema de arrefecimento	362,89	32,66 €	-	-	0,13
Cenário 4.2	Substituição das caldeiras a gás natural por caldeiras a biomassa	-14003,95	2 024,00 €	27 454,06 €	13,60	19,58
Cenário 4.3	Substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas LED	27191,08	2 447,20 €	10 372,42 €	4,20	9,79
Cenário 4.4	Instalação de sensores de movimento nas I.S.	1954,95	175,95 €	95,92 €	0,50	0,70
Cenário 4.3+4.4	Instalação de sensores de movimento nas I.S. com iluminação LED	2516,28	226,47 €	95,92 €	0,40	0,91
Cenário 4.5	Instalação de sensores de presença nas Z.C. e S.E.G.	2922,25	263,00 €	485,82 €	1,80	1,05
Cenário 4.3+4.5	Instalação de sensores de presença nas Z.C. e S.E.G com iluminação LED	3289,17	296,03 €	485,82 €	1,60	1,18
Cenário 4.6	Regulação de luminosidade nas estantes dos salões de leitura	3823,38	344,10 €	2 357,00 €	6,80	1,38
Cenário 4.7	Substituição dos computadores fixos dos funcionários por computadores portáteis	9489,15	854,02 €	4 500,00 €	5,30	3,42

A medida proposta no **Cenário 4.0**, passa pela substituição das caldeiras existentes a gás natural no edifício, por novas caldeiras também a gás natural, mas com um rendimento mais elevado. Esta medida implicaria um investimento inicial de 14486€ (custo referente apenas às duas caldeiras novas), permitindo uma redução de 17071,08kWh de energia consumida anualmente, o que levaria a um período de retorno do investimento de aproximadamente 16,1 anos. Dado que este período é consideravelmente longo e considerando também o tempo de vida destes equipamentos (20 anos), a aplicação da medida proposta apenas faria sentido se as caldeiras atuais estivessem em fim de vida, podendo-se, deste modo, considerar a instalação de duas caldeiras novas com rendimento superior.

Relativamente ao **Cenário 4.1**, dado que a poupança obtida é baixa, a instalação de bombas com classe de eficiência energética superior, não traz para já, retornos financeiros consideráveis. Contudo, deixa-se claro, que para futura substituição destes equipamentos, deve ser considerada a implementação de bombas de classe IE3 ou IE4, que apresentem rendimentos superiores.

A medida proposta no **Cenário 4.2**, visa a substituição das caldeiras atuais por uma caldeira a pellets, beneficiando de uma redução de aproximadamente 41% do custo de combustível consumido. O respetivo cenário apresenta um investimento de 27 454,06€ (referente apenas aos equipamentos), tendo um período de retorno financeiro de 13,6 anos. Contudo, propõe-se, tal como na medida apresentada no Cenário 4.0, que apenas se implemente a instalação destes equipamentos no fim de vida útil das caldeiras atuais. Porém, devem também ser analisadas outras possibilidades, tais como a instalação de bombas de calor e um sistema fotovoltaico. A utilização de pellets como fonte de energia permite uma redução significativa de CO<sub>2</sub>, uma vez que se considera que esta fonte energética apresenta emissões neutras.

A substituição da maioria das lâmpadas presentes no interior do edifício, proposta no **Cenário 4.3**, apresenta-se como uma medida vantajosa em termos energéticos, conseguindo-se rentabilizar o investimento em 4,2 anos, permitindo também uma redução de emissões de CO<sub>2</sub> anual de aproximadamente 9,7 toneladas. Considerando que as lâmpadas LED apresentam em média, 50000

horas de vida útil, e que a iluminação estaria ligada durante 3663 horas por ano, seriam necessários cerca de 13,6 anos para voltar a substituir novamente as lâmpadas existentes. No entanto, deve ser efetuada uma análise da iluminância admitindo as novas lâmpadas propostas, com uma ferramenta de simulação, como o dialux, a fim de analisar a iluminância dos locais e a qualidade de iluminação.

Já nos **Cenários 4.4 e 4.5**, admite-se a instalação de sensores de presença e movimento, nas instalações sanitárias e nas zonas de circulação e salas de estudo de grupo respetivamente. A implementação destes equipamentos, aliada á substituição das lâmpadas, poderá acarretar uma poupança anual conjunta de cerca de 522,25€ nos custos de energia elétrica, implicando um investimento inicial de 581,74€. Os períodos de retorno associados a cada cenário são de 0,4 e 1,6 anos respetivamente. Posto isto, aconselha-se a implementação destas medidas.

A regulação de luminosidade das lâmpadas LED presentes nos salões de leitura, medida proposta no **Cenário 4.6**, torna-se também uma solução viável para reduzir o consumo energético associado ao sistema de iluminação da biblioteca, uma vez que existem vários períodos do dia ao longo do ano, em que a iluminação natural proveniente dos envidraçados dos salões de leitura e das claraboias instaladas no teto, justifica a regulação da luminosidade das lâmpadas presentes nos mesmos, conseguindo-se reduzir deste modo, a energia consumida pelas mesmas. A solução proposta, também permite desligar a iluminação se não detetar qualquer presença humana. Apesar do investimento inicial necessário para a implementação deste sistema, 2357,00€, e do período de retorno de investimento ser de aproximadamente 6,8 anos, existem outras soluções de menor custo que também poderão garantir o mesmo tipo de vantagens. Contudo, aconselha-se também uma análise prévia, com uma ferramenta de simulação, tendo em conta a exposição solar do edifício, o número de horas por dia e por estação do ano em que existiria regulação da luminosidade e da percentagem de regulação da mesma.

Por último, no **cenário 4.7**, propõe-se a substituição dos computadores de secretária dos funcionários da biblioteca, por computadores portáteis, uma vez que apresentam um consumo energético bastante inferior. Seria necessário um investimento inicial de 4 500 €, conduzindo a uma poupança anual de aproximadamente 854€, o que permitiria um período de retorno do investimento realizado de 5,3 anos.



## 5. Conclusões

O principal objetivo deste trabalho consistiu na realização de uma Análise energética à biblioteca da Universidade de Aveiro, no âmbito do Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis, com intuito de fazer o estudo das condições de utilização de energia no edifício e na identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético. Pretendeu-se de igual modo, demonstrar a importância da eficiência energética na gestão de energia em edifícios, efetuando um paralelo entre a redução de consumo de energia através da implementação de medidas de racionalização e eficiência energética, e a redução do consumo de energias fósseis e consequente redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Pretende-se também com este trabalho, influenciar a abordagem dos responsáveis da instituição e dos seus ocupantes, na utilização correta do uso de energia.

Para a realização deste trabalho, foi efetuado um levantamento das condições de utilização de energia, com o objetivo de identificar oportunidades de racionalização energética, propondo medidas intervencionais e economicamente viáveis e executáveis. Para isso, foi necessário: caracterizar os consumos de energia elétrica e gás natural através da análise dos dados enviados pelo *datalogger* do edifício, baseando nos consumos dos últimos quatro anos; efetuar um levantamento das características dos equipamentos, desagregando a sua contribuição para o consumo de energia elétrica; levantamento dos perfis de utilização dos equipamentos acima referidos; interpretação dos comportamentos relativos aos consumos, analisando a sua influência no consumo total de energia do edifício; identificação dos Indicadores de Eficiência Energética, a fim de obter a classificação energética do edifício e por fim a identificação de oportunidades e medidas de racionalização de consumos com e sem investimento financeiro;

Relativamente ao consumo energético do edifício, este apresentou em 2017 um consumo de 199666 kWh de energia elétrica e 96945,79kWh de gás natural, correspondendo a um consumo total em termos de energia primária de 66240,48 kgep, apresentando um IEE de 14,27 kgep/m<sup>2</sup>.ano e uma Classe de Eficiência Energética B -. Durante esse ano, o edifício emitiu cerca de 91,46 toneladas de CO<sub>2</sub>. Relativamente ao cálculo das correlações entre o consumo de energia elétrica e gás natural e a temperatura média exterior (variável exógena), foi possível constatar que estas têm, de certa forma, influência no comportamento dos consumos de energia do edifício. Os regulamentos utilizados neste trabalho para o cálculo do IEE já não estão em uso, pelo que atualmente seria necessário utilizar ferramentas de simulação dinâmica para obter esses resultados.

Conclui-se que o consumo de energia e encargos com a mesma são mais elevados nos meses com temperaturas mais altas e mais baixas e também nos meses onde se deteta maior afluência à biblioteca (meses de junho e julho, preparação para exames). Este fato é justificado pela maior utilização dos equipamentos de climatização, nomeadamente caldeiras, *chillers*, ventilo convetores e equipamentos elétricos. Conclui-se também que a maioria dos consumos de energia elétrica ocorre nas horas de cheias, uma vez que corresponde aos períodos em que a utilização da biblioteca é maior. Analisando também as potências base (*baselines*), percebe-se que existem cargas que ficam ligadas longos períodos, principalmente durante noite. O consumo de gás natural provém exclusivamente do consumo das caldeiras para climatizar o edifício. Já o consumo de energia elétrica, reparte-se principalmente por três setores, distribuindo-se da seguinte forma: 45% em iluminação, 30% em equipamentos e os restantes 25% em climatização.

A iluminação interior da biblioteca, representa um consumo de energia particularmente significativo devido ao valor da carga elétrica associada às atividades lá desenvolvidas. As medidas propostas para o sistema de iluminação, apresentam resultados bastante significativos em termos de desempenho energético. Estas medidas passam essencialmente pela substituição da maioria das lâmpadas atuais, por lâmpadas LED, que consomem menos energia, garantindo um nível de iluminação semelhante, e pela instalação de sensores de movimento, de presença (crepuscular) e por um sistema de regulação de luminosidade. Com a aplicação das medidas propostas, estima-se uma redução anual no consumo de energia elétrica de aproximadamente 36819,91kWh, correspondendo a uma redução dos GEE de 13,26 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Seria, contudo, necessário um investimento inicial de aproximadamente 13 311,16€, apresentando um período de retorno baixo.

A climatização do edifício, correspondendo a 25% do consumo de energia elétrica do edifício, também foi alvo de estudo, para posterior análise de soluções possíveis de implementar a fim de reduzir o consumo energético associado a esse sistema. Neste caso, estudaram-se soluções que não requerem investimento financeiro, estimando-se uma redução do consumo energético de aproximadamente 55193,71kWh, levando a uma redução de emissão dos GEE de 13,24 toneladas de CO<sub>2</sub>, comparativamente ao ano de 2017. Estas medidas, que passam fundamentalmente pela alteração dos horários de funcionamentos dos principais equipamentos do sistema de climatização, podem acarretar uma poupança anual na fatura energética de aproximadamente 3 185,75€. Contudo, são também propostas outras soluções, que requerem, no entanto, um investimento financeiro inicial. Estas propostas baseiam-se na substituição das caldeiras atuais por caldeiras novas com rendimento superior ou na substituição para uma caldeira a biomassa. Estas medidas podem gerar poupanças de aproximadamente 900€ e 2 050€ respetivamente, tendo a última, contudo, um investimento inicial maior, conseguindo, porém, um período de retorno de financeiro mais curto (16,1 anos e 13,6 anos, respetivamente).

Por último, o setor dos equipamentos, que apresenta grande influência no consumo energético do edifício, podendo apresentar grandes variações de consumo, consoante a ocupação do edifício (variação não estudada). Para este setor, propõem-se uma medida onde não seja necessário investimento financeiro, sendo ela, a hibernação dos computadores fixos. Esta ação, pode atingir uma redução no consumo de eletricidade de aproximadamente 4158kWh, levando a uma economia de cerca de 374€ anuais, permitindo também uma redução de 1,5 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. A substituição dos computadores fixos também foi analisada, sendo que seriam necessários 4 500€ em computadores portáteis, para alcançar uma redução de 9489,15kWh de energia elétrica e 3,42 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Esta medida apresenta um período de retorno de investimento de aproximadamente 5,3 anos.

Conclui-se, deste modo, que caso se opte por aplicar as medidas propostas que não requerem investimento financeiro, estima-se uma redução total e anual no consumo de energia de aproximadamente 59 351,71kWh, levando também a uma redução de 14,74 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos anualmente. Estas medidas proporcionariam uma poupança anual de aproximadamente 3 559,97€, obtendo-se uma redução de 20% no consumo global de energia no edifício. Por outro lado, admitindo as medidas que requerem investimento inicial, as mesmas podem-se traduzir numa redução de 32 305,11kWh de energia consumida no edifício, optando-se neste caso e para além das outras medidas, pela caldeira a biomassa, acarretando, deste modo, uma redução 36,25 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas para a atmosfera anualmente. No entanto, optando-se por caldeiras novas a gás natural

de rendimento superior, a redução energética pode atingir os 63 380, 14kWh, emitindo assim menos 20,12 toneladas de dióxido de carbono anualmente e permitindo uma economia anual de 5 067,64€.

Posto isto, adotando as medidas sem investimento inicial, o consumo anual de energia elétrica passaria a ser de 182 281,93kWh e o de gás natural seria 54 981,54kWh, emitindo um total de 76,63 toneladas de CO<sub>2</sub>. Deste modo, o IEE do edifício passaria a ser 12,4 kgep/m<sup>2</sup>.ano, correspondendo a uma Classe Energética B, ou seja, passaria da Classe B- para a Classe B. Por outro lado, implementando as medidas sujeitas a investimento inicial, o consumo de energia elétrica passaria a ser de 153 356,94kWh ou 152 538kWh e o de gás natural 79 878kWh ou 0kWh, caso se opte pelas caldeiras novas a gás natural ou a biomassa, emitindo um total de 71,34 ou 53,40 toneladas de CO<sub>2</sub> respetivamente. A razão para o consumo em kWh ser maior com a caldeira a biomassa deve-se ao método de conversão utilizado. Com isto, o edifício passaria a apresentar um IEE de 11,55 e 11,06 respetivamente, correspondendo a Classe de Eficiência Energética B (r=0,57) e B (r=0,55), respetivamente.

### **5.1. Cumprimento dos objetivos**

O presente trabalho de dissertação teve dois grandes objetivos, como referido anteriormente: analisar o desempenho energético da biblioteca da Universidade de Aveiro com o objetivo de identificar as áreas que deveriam sofrer intervenção e apresentar medidas de eficiência energética, analisando o custo-benefício das mesmas. Apesar de se ter acesso às contagens totais dos consumos de energia elétrica e gás natural, a desagregação dos consumos por utilização e espaços poderão apresentar alguns erros, uma vez que os consumos para os diferentes setores foram estimados através da identificação e das características dos principais equipamentos consumidores. Posto isto, os consumos estimados poderão também interferir nos resultados das análises custo-benefício das medidas associadas. Contudo, alcançaram-se valores realistas, que poderão ser futuramente considerados, pelo que se considera que ambos os objetivos foram concretizados.

### **5.2. Recomendações**

Com todos os dados conclusivos, considera-se que a aplicação das medidas analisadas, trazem grandes benefícios em termos energéticos e financeiros, nomeadamente as medidas que não requerem qualquer investimento e também as que apresentam um período de retorno de investimento curto, revelando um elevado potencial de poupança e de redução de emissões CO<sub>2</sub>. Quanto às medidas que requerem um maior investimento e com um período de retorno maior, deverão ser profundamente analisadas. Contudo, admite-se um como período de retorno máximo admissível de 7 anos, uma vez que não foi utilizado qualquer taxa de atualização de capital, pelos que as medidas que apresentem períodos superiores, deverão ser analisadas, propondo-se outras soluções.

Aconselha-se também a utilizar ferramentas de simulação como o Design Builder e o dialux, a fim de recolher dados mais fiáveis e concretos, indo de encontro com a regulamentação atual. Relativamente à substituição de equipamentos, torna-se de igual modo interessante, avaliar a viabilidade de implementação de um sistema solar fotovoltaico.



## Referências

- [1] Copel, “Manual de Eficiência Energética na Indústria,” p. 155, 2005.
- [2] APA, “Agência Portuguesa do Ambiente,” 2015. [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=19&subref=174>.
- [3] J. Amador, “Produção e consumo de energia em Portugal: Factos Estilizados,” *Bol. Económico / Banco Port.*, pp. 71–86, 2010.
- [4] BP Energy Economics, “2018 BP Energy Outlook 2018 BP Energy Outlook,” p. 125, 2018.
- [5] L. Silva, “Estratégia Nacional para a Energia ( ENE 2020 ),” *6º Work. da Plataforma do Empreendedor*, pp. 1–20, 2010.
- [6] J. Bernardo, “Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos,” *Work. RePublic\_ZEB*, p. 26, 2015.
- [7] J. Sousa, “O paradigma da eficiência energética dos edifícios,” *Clim. - Edifícios e Energ.*, 2012.
- [8] “Direção Geral de Energia e Geologia.” [Online]. Available: <http://www.dgeg.gov.pt/>.
- [9] Fundação Francisco Manuel dos Santos, “Base de Dados Portugal Contemporâneo.” [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/>.
- [10] República Portuguesa, “Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE,” *Resumo da Política Nac. Energias Renov.*, no. iii, pp. 6394–6397, 2010.
- [11] A. Oliveira, “15.º Encontro de Verificadores Ambientais EMAS,” *Agência Port. do Ambient.*, 2016.
- [12] DGE, “Balanço Energético 2014,” *Direção-Geral Energ. e Geol.*, p. 14, 2014.
- [13] DGE, “Balanço Energético 2016,” *Direção-Geral Energ. e Geol.*, 2016.
- [14] DGE, “Balanço Energético 2015,” *Direção-Geral Energ. e Geol.*, pp. 1–14, 2015.
- [15] “Instituto Nacional de Estatística.” [Online]. Available: [www.inec.pt/](http://www.inec.pt/).
- [16] Instituto Nacional de Estatística, *Estatísticas do Ambiente*. 2015.
- [17] APA, “Relatório do Estado do Ambiente Portugal 2016. Agência Portuguesa do Ambiente,” p. 82, 2017.
- [18] “Agência para a Energia.” [Online]. Available: <https://www.adene.pt/>.
- [19] P. Cabral, “O PNAEE 2016 e PNAER 2013-2020 : Estratégias para a Eficiência Energética e Energias Renováveis,” *Debates ao fim da tarde*, 2013.
- [20] Ministério da Agricultura do Mar do Ambiente e do Ordenamento do Território, “Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050,” no. Maio, pp. 1–122, 2012.
- [21] “Terceiro PNAEE | 2017 - 2020,” 2017.
- [22] Portugal, “Portugal 2020 - Acordo de parceria para o período de 2014 a 2020,” *Gov. Port.*, pp. 1–175, 2014.
- [23] Energia em Portugal, “Energia em Portugal.” [Online]. Available: <http://www.energiaportugal.pt/pt/energia-em-portugal>.
- [24] Adene, “ecoap.” [Online]. Available: <http://ecoap.pnaee.pt/ambito/>.
- [25] ERSE, “Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica.” [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizacao/sector/Paginas/default.aspx>.
- [26] “International Energy Agency.” [Online]. Available: <http://www.iea.org/>.
- [27] Direção Geral de Energia e Geologia, “Energia em Portugal,” 2015.
- [28] Comissão Europeia, “DIRECTIVA 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios,” *J. Of. das Comunidades Eur.*, vol. L 1, no. 11, pp. 65–71, 2003.
- [29] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva 2012/27/UE,” *J. Of. da União Eur.*, pp. 1–56, 2012.
- [30] E. Fernandes, “Revisão da Regulamentação dos Edifícios em Portugal: RCCTE, RSECE e SCE,” *Edif. e Energ.*, p. 2006, 2006.
- [31] J. R. P. Figueiredo, “O Novo Sistema de Certificação Energética – Edifícios de Comércio e Serviços,” 2014.
- [32] “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios ( SCE ) Perguntas & Respostas Versão 0 Maio de 2015,” 2015.
- [33] Ministério das Obras Públicas, “O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)-Decreto-Lei n.º 79/2006,” *Diário da República*, no. 4 de Abril, p. 53 (2416-2468), 2006.
- [34] P. Martins, “Eficiência Energética em Edifícios de Serviços,” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.
- [35] “Portal da Eficiência Energética.” [Online]. Available: <http://www.portal->

- eficienciaenergetica.com.pt/conceitos.html.
- [36] D. B. Riccardo Comini, Florence Clement, Francisco Puente, Alessandro Orlandi, Isabel Oliveira, Pedro Lima, “A utilização racional de energia em edifícios públicos,” *EnerBuilding.eu*, 2008.
  - [37] Iberdrola, “Guia de Eficiência Energética,” pp. 1–29, 2014.
  - [38] “Direção Geral de Energia e Geologia,” *Iluminação*. [Online]. Available: <http://www.asae.gov.pt/pagina.aspx?back=1&codigono=54105579AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA>.
  - [39] V. Magueijo *et al.*, “Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um enquadramento tecnológico sucinto,” *Medidas Eficiência Energética Indústria -SGCIE*, 2010.
  - [40] EDP, “Aquecimento e Arrefecimento Ventilação Humidificação e Desumidificação.”
  - [41] ERSE, “Manual de Eficiência Energética em estabelecimentos escolares,” 2010.
  - [42] DGGE, *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. 2004.
  - [43] I. Couras, “Gestão Técnica de Edifícios - Aplicação em Edifício Escolar,” 2011.
  - [44] “Technorb Systems LLC.” [Online]. Available: [http://www.technorb.com/Automation\\_blg.php](http://www.technorb.com/Automation_blg.php).
  - [45] P. N. do V. B. Parreira, “A Eficiência Energética Implementada nos Edifícios da UP,” 2015.
  - [46] “Portal Energia – Energia Renováveis.” [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/>.
  - [47] Iberdrola, “Manual de Boas Práticas Energéticas,” *Iberdrola*, pp. 1–94, 2012.
  - [48] Lge, “Auditoria Energética - Enquadramento regulamentar e metodologias de implementação de programas de racionalização. Laboratório de gestão de Energia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra,” 2014.
  - [49] Osram, “Manual Luminotécnico Prático,” pp. 1–29, 2007.
  - [50] Adene, *Manual da Etiqueta Energética*. 2017.
  - [51] “Soluções de poupança saudáveis.” [Online]. Available: <https://www.efimarket.pt/>.
  - [52] LNEC, “A Iluminação natural nos edifícios- Uma abordagem no contexto do conforto e da eficiência energética,” 2013.
  - [53] Fernando Godinho de SOUZA, Graciela Alessandra Dela ROCCA, Fernanda Cristina Silva FERREIRA, Stéfano Frizzo STEFENON, and Petterson ARRUDA, “Análise de viabilidade econômica da substituição de lâmpadas comuns por econômicas e tecnologia LED,” *Ano*, vol. 38, no. 51, p. 17, 2017.
  - [54] Philips, “Lâmpadas fluorescentes compactas.” [Online]. Available: <https://www.philips.pt/c-m-li/lampadas-fluorescentes-compactas>.
  - [55] ADENE, “Guia Da Eficiência Energética,” *Guia Da Eficiência Energética*, p. 94, 2011.
  - [56] “Osram.” [Online]. Available: <https://www.osram.pt/index-2.jsp>.
  - [57] “Lâmpada Incandescente.” [Online]. Available: <https://www.philips.pt/c-p/871150009033105/shock-resistant-lamp-lampada-incandescente>.
  - [58] R. Manuel and A. De Sousa, “Estudo da Eficiência Energética e Gestão de Energia em Edifícios Escolares,” 2011.
  - [59] “Lâmpada de Halogéneo.” [Online]. Available: <https://www.philips.pt/c-p/8727900251999/halogen-classic-lampada-de-halogeneo>.
  - [60] “Lâmpadas Fluorescentes.” [Online]. Available: <http://www.lighting.philips.pt/prof/lampadas-e-tubos-convencionais/fluorescent-lamps-and-starters>.
  - [61] H. Luz, P. F. F. N, E. M. Busca, and D. A. Verdade, “Haja luz.”
  - [62] P. Ii, “LED como fonte de luz,” pp. 4–7.
  - [63] N. F. V. DA SILVA, “Iluminação Led – Avaliação Económica e Ambiental,” *Fac. Eng. - Univ. do Porto*, pp. 1–3, 2013.
  - [64] Philips, “Lâmpadas LED.” [Online]. Available: <https://www.philips.pt/c-m-li/lampadas-led>.
  - [65] “Lâmpadas LED.” [Online]. Available: [https://www.lugarcerto.com.br/app/601,62/2015/04/23/interna\\_noticias,48733/lampadas-led-tem-menor-impacto-na-natureza-e-deixam-a-conta-de-luz-ate.shtml](https://www.lugarcerto.com.br/app/601,62/2015/04/23/interna_noticias,48733/lampadas-led-tem-menor-impacto-na-natureza-e-deixam-a-conta-de-luz-ate.shtml).
  - [66] A. Teixeira, “Iluminação Fluorescente - Balastros,” 2002.
  - [67] A. Teixeira, “Iluminação interior - Fontes luminosas,” 2006.
  - [68] J. N. Santos, “Noções Básicas de luminotécnica,” 2007.
  - [69] “Empresa de Equipamento Elétrico, S.A.” [Online]. Available: <http://www.eee.pt/conteudos/controlo/default.aspx?id=3&title=luminarias-autonomas&idioma=pt>.
  - [70] F. Moore, *Environmental Control Systems, heating cooling lighting*. 1993.
  - [71] A. Teixeira, “Eficiência energética das instalações de iluminação,” 2004.
  - [72] H. Jordá *et al.*, “Manual De Iluminação Pública,” *Alternativas*, no. 4, p. 73347494, 2016.
  - [73] M. Moreira, G. Tese, E. Mec, P. Climatiza, and S. L. Faculdade, “A Iluminação de Edifícios no

- Contexto da Certificação Energética,” FEUP, 2009.
- [74] L. Roriz, *Climatização*. 2006.
  - [75] C. Piteira, *A Qualidade do Ar Interior em Instalações Hospitalares*. 2007.
  - [76] J. Marques, “Manutenção de Uma Instalação de AVAC das Áreas Limpas de Uma Indústria Farmacêutica,” 2005.
  - [77] L. Roriz, “Comparando a eficiência dos sistemas centralizados com a dos sistemas VRV.”
  - [78] J. Carpinteiro, *Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado*. 2011.
  - [79] A. L. M. Barreras, *Técnicas de climatización 4ª*. 2010.
  - [80] R. H. Howell, H. J. Sauer, and W. J. Coad, “Principles of Heating, Ventilating and Air Conditioning,” p. 494, 2005.
  - [81] S. Rees, “Advances in Ground-Source Heat Pump Systems,” 2016.
  - [82] J. T. V. Piteu, “Manutenção das Instalações técnicas de um Grande Edifício,” 2011.
  - [83] A. N. A. Filipa, R. Oliveira, and M. Energia, “Melhoria da eficiência energética na escola de hotelaria e turismo do porto,” 2015.
  - [84] “Caldeiras Biomassa.” [Online]. Available: <http://www.calderasbiomassa.com/produto/11454/grupo-de-queima-automatico-de-biomassa-moderator-180-silo-4m3/>.

## **Anexos**



## Anexo 1 - Piso 1



Figura 138 - Planta do Piso 1

Tabela 81 - Divisões do Piso 1

Divisão	Descrição	Divisão	Descrição
17.1.23	Bastidor	17.1.40	Bastidor
17.1.24	Casa das máquinas	17.1.41	Sala de formações
17.1.25	Gabinete Administrativo	17.1.42	Sala de leitura informal
17.1.26	Zona de acesso ou circulação (escadas)	17.1.43	Gabinete de estudo individual
17.1.28	Sala de trabalho	17.1.44	Gabinete de estudo individual
17.1.29	Gabinetes Administrativos	17.1.45	Gabinete de estudo individual
17.1.30	Gabinetes Administrativos	17.1.46	Gabinete de estudo individual
17.1.31	Sala de reuniões	17.1.47	Gabinete de estudo individual
17.1.32	Depósito e publicações	17.1.48	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.1.33	Arquivo Administrativo	17.1.49	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.1.34	Instalações sanitárias masculinas	17.1.50	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.1.35	Instalações sanitárias femininas	17.1.51	Gabinete de estudo individual
17.1.36	Sala de convívio	17.1.52	Gabinete de estudo individual
17.1.37	Armazém	17.1.53	Gabinete de estudo individual
17.1.38	UA Editora	17.1.54	Gabinete de estudo individual
17.1.39	Sala de restauro		

Anexo 2 - Piso 2



Figura 139 - Planta do Piso 2

Tabela 82 - Divisões do Piso 2

Divisão	Descrição	Divisão	Descrição
17.2.0	Salão de leitura	17.2.16	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.2.1	Zona de acesso ou circulação	17.2.17	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.2.2	Sala de exposições - Hélène de Beauvoir	17.2.18	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.2.2.1	Apoio á sala de exposições	17.2.19	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.2.4	Zona de acesso ou circulação	17.2.20	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.2.5	Instalações sanitárias masculinas	17.2.21	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.2.6	Instalações sanitárias femininas	17.2.22	Zona de acesso ou circulação
17.2.7	Zona de acesso ou circulação	17.2.23	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.2.12	Reprografia	17.2.24	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.2.13	Zona de acesso ou circulação	17.2.25	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.2.14	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	17.2.26	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.2.15	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	17.2.27	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais

## Anexo 3 - Piso 3



Figura 140 - Plano do Piso 3

Tabela 83 - Divisões do Piso 3

Espaço	Descrição	Espaço	Descrição
17.3.4	Gabinete de estudo individual	17.3.19	Sala de estudo de grupo
17.3.5	Gabinete de estudo individual	17.3.20	Sala de estudo de grupo
17.3.6	Gabinete de estudo individual	17.3.26	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.7	Gabinete de estudo individual	17.3.27	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.8	Instalações sanitárias femininas	17.3.28	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.9	Instalações sanitárias masculinas	17.3.29	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.10	Sala de estudo de grupo	17.3.30	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.11	Sala de estudo de grupo	17.3.31	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.3.13	Sala de estudo de grupo	17.3.32	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.3.14	Sala de estudo de grupo	17.3.33	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.15	Sala de estudo de grupo	17.3.34	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.16	Sala de estudo de grupo	17.3.35	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.17	Sala de estudo de grupo	17.3.36	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.3.18	Sala de estudo de grupo	17.3.37	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais

Anexo 4 - Piso 4



Figura 141 - Planta do Piso 4

Divisão	Descrição	Divisão	Descrição
17.4.1	Zona de acesso ou circulação (escadas)	17.4.12	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.4.2	Varanda	17.4.13	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.4.3	Zona de acesso ou circulação (escadas)	17.4.14	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.4.4	Instalações sanitárias femininas	17.4.15	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.4.5	Instalações sanitárias masculinas	17.4.17	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.4.6	Arquivo	17.4.18	Zona de acesso ou circulação (escadas)
17.4.7	Arquivo	17.4.20	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.4.8	American Corner	17.4.21	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.4.9	Arquivo e Museologia	17.4.22	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.4.10	Arrumos	17.4.23	Gabinete de estudo individual e de audiovisuais
17.4.11	Zona de acesso ou circulação		

## Anexo 5 – Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 1

Tabela 84 - Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 1

Localização	Qtd.	Horário semana	Horário - Sábado	Taxa de utilização - dia útil	Taxa de utilização - Sábado	Horas/dia	Horas/sábado
17.1.3.2 - Depósito e publicações	34	09:00 - 18:00	-	100%	0%	9	0
17.1.38 - UA Editora	4	09:00 - 18:00	-	100%	0%	9	0
17.1.39 - Sala de restauro	4	09:00 - 18:00	-	50%	0%	4,5	0
17.1.3.0 - Gabinete de administração	1	09:00 - 18:00	-	100%	0%	9	0
17.1.31 - Sala de reuniões	1	09:00 - 18:00	-	20%	0%	1,8	0
17.1.28 - Sala de trabalho	7	09:00 - 18:00	-	100%	0%	13	0
17.1.42 - Sala de leitura informal	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	0%	13	0
17.1.41 - Sala de formação	4	09:00 - 18:00	-	100%	0%	9	0
17.1.29 - Gabinete administrativo	1	09:00 - 18:00	-	100%	0%	9	0
17.1.25 - Gabinete administrativo	1	09:00 - 18:00	-	100%	0%	9	0
Zonas de acesso e circulação	7	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	70%	0%	9	0
17.1.43 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.44 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.45 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.46 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.47 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.50 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.51 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.52 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.53 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
17.1.54 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	12%	0%	1,5	0
Instalações sanitárias (espelhos)	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
Instalações sanitárias masculinas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
Instalações sanitárias femininas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9

## Anexo 6 – Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 2

Tabela 85 - Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 2

Localização	Qtd.	Horário semana	Horário - Sábado	Taxa de utilização - dia útil	Taxa de utilização - Sábado	Horas/ dia	Horas/ sábado
17.2.0 - Biblioteca (estantes)	135	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9
17.2.2 - Sala de exposições - Hélène de Beauvoir	6	09:00-18:00	09:00-18:00	100%	0%	9	0
17.2.1 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9
17.2.4 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9
17.2.4.1 - Bengaleiro	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9
17.2.7 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9
17.2.13 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9
17.2.19 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	1%	1%	0,13	0,05
17.2.21 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	1%	1%	0,13	0,05
17.2.22 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	1%	1%	0,13	0,05
17.2.20 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	1%	1%	0,13	0,05
17.2.0 - Bancadas	56	09:00 - 22:00	09:00-18:00	50%	25%	6,5	2,25
17.2.14 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.15 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.16 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.17 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.18 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.23 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.24 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.25 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	2,6	0
17.2.5 - Instalações sanitárias masculinas	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9
17.2.6 - Instalações sanitárias femininas	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9
Instalações sanitárias (espelhos)	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	13	9

## Anexo 7 – Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 3

Tabela 86 - Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 3

Localização	Qtd.	Horário semana	Horário - Sábado	Taxa de utilização - dia útil	Taxa de utilização - Sábado	Horas/dia	Horas/sábado
Biblioteca (estantes)	162	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
Balcão de informação	3	09:00 - 18:00	09:00 - 18:00	100%	0%	9	9
17.3.10 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.3.13 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.3.15 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.3.17 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.3.18 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.3.19 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.3.31 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	1%	1%	0,13	0,05
17.3.32 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	1%	1%	0,13	0,05
Biblioteca (entradas)	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
Zona de acesso ou circulação (gabinetes)	3	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
Escadas (entrada)	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
Biblioteca (bancadas)	56	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	50%	25%	6,5	2,3
17.3.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.28 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.29 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.30 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.33 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.34 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.35 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.36 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.37 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.4 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.5 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.6 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.7 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.21 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.22 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.23 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.24 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.3.9 - Instalações sanitárias masculinas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.3.8 - Instalações sanitárias femininas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
Instalações sanitárias (espelhos)	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9

## Anexo 8 – Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 4

Tabela 87 - Perfil de utilização do sistema de iluminação no Piso 4

Localização	Qtd.	Horário semana	Horário - Sábado	Taxa de utilização - dia útil	Taxa de utilização - Sábado	Horas/dia	Horas/sábado
Biblioteca (estantes)	162	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.4.6 - Arquivo - American Corner	4	09:00 - 18:00	09:00 - 18:00	100%	0%	9	0
17.4.3 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.4.11 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.4.17 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	1%	1%	0,13	0,13
17.4.18 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	1%	1%	0,13	0,13
Biblioteca (bancadas)	48	09:00 - 22:00	09:00-18:00	30%	0%	3,9	0
17.4.12 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.4.13 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.4.14 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.4.15 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.4.20 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.4.21 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	9
17.4.22 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.4.23 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	2,6	0
17.4.4 - Instalações sanitárias femininas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
17.4.5 - Instalações sanitárias masculinas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9
Instalações sanitárias (espelhos)	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	13	9



Anexo 9 – Consumo detalhado do sistema de iluminação no Piso 1

Tabela 88 - Consumo detalhado do sistema de iluminação no piso 1

Lâmpada	Marca	Modelo	Potência (W)	Localização	Qtd.	Horário - Semana	Horário - Sábado	Taxa de utilização - Semana	Taxa de utilização - Sábado	Pot. Total/dia (Wh)	Pot. Total/Sábado (Wh)	Pot. Total/mês (kWh)	Pot. Total/ano (kWh)
Fluorescente Tubular	Philips	TL-D 58W/840	58	17.1.3.2 - Depósito e publicações	34	09:00 - 18:00	-	100%	0%	17748	0	399,33	4392,63
Fluorescente Compacta	OSRAM	PL 36W	36	17.1.36 - Sala de convivio	2	09:00 - 18:00	09:00 - 18:00	100%	0%	1296	0	29,16	320,76
			36	17.1.38 - UA Editora	4	09:00 - 18:00	-	100%	0%	2592	0	58,32	641,52
			36	17.1.39 - Sala de restauro	4	09:00 - 18:00	-	50%	0%	1296	0	29,16	320,76
			36	17.1.3.0 - Gabinete de administração	1	09:00 - 18:00	-	100%	0%	648	0	14,58	160,38
			36	17.1.31 - Sala de reuniões	1	09:00 - 18:00	-	20%	0%	129,6	0	2,92	32,08
			36	17.1.28 - Sala de trabalho	7	09:00 - 18:00	-	100%	0%	4536	0	102,06	1122,66
			36	17.1.42 - Sala de leitura informal	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	0%	3744	0	84,24	926,64
			36	17.1.41 - Sala de formação	4	09:00 - 18:00	-	100%	0%	2592	0	58,32	641,52
			36	17.1.29 - Gabinete administrativo	1	09:00 - 18:00	-	100%	0%	648	0	14,58	160,38
			36	17.1.25 - Gabinete administrativo	1	09:00 - 18:00	-	100%	0%	648	0	14,58	160,38
			36	Zonas de acesso e circulação	7	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	70%	0%	4586,4	0	103,19	1135,13
OSRAM DULUX T PLUS			18	Instalações sanitárias masculinas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,98	263,74
				Instalações sanitárias femininas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	0	21,06	231,66
Philips PLE-C 8W			8	Salas de estudo individuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	10%	0%	104	0	2,34	25,74
			8	Salas de estudo individuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	10%	0%	104	0	2,34	25,74
			8	Salas de estudo individuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	10%	0%	104	0	2,34	25,74
			8	Salas de estudo individuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	10%	0%	104	0	2,34	25,74
			8	Salas de estudo individuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	10%	0%	104	0	2,34	25,74
			8	Salas de estudo individuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	10%	0%	104	0	2,34	25,74
			8	Salas de estudo individuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	10%	0%	104	0	2,34	25,74
			8	Salas de estudo individuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	10%	0%	104	0	2,34	25,74
OSRAM DULUX D			13	Instalações sanitárias (espelhos)	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	676	234	16,26	178,89
Total (kWh)										44,05	0,88	995,14	10946,53

Anexo 10 – Consumo detalhado do sistema de iluminação no Piso 2

Tabela 89 - Consumo detalhado do sistema de iluminação no Piso 2

Lâmpada	Marca	Modelo	Potência (W)	Localização	Qtđ.	Horário - Semana	Horário - Sábado	Taxa de utilização - Semana	Taxa de utilização - Sábado	Total/dia (Wh)	Total/Sábado (Wh)	Pot. Total/mês (kWh)	Pot. Total/ano (kWh)	
Fluorescente Tubular	Philips	TL-D 36W/840	36	17.2.0 - Biblioteca (estantes)	135	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	63180	43740	1618,38	17802,18	
			36	17.2.2 - Sala de exposições - Hélène de Beauvoir	6	09:00-18:00	09:00-18:00	100%	0%	1944	0	43,74	481,14	
	Philips	TL-D 8W	8	Balcão de informações	3	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	312	216	7,99	87,91	
			36	17.2.1 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	1872	1296	47,95	527,47	
Fluorescente compacta	OSRAM	PL 36W	36	17.2.4 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	1872	1296	47,95	527,47	
			36	17.2.4.1 - Bengaleiro	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	3744	2592	95,90	1054,94	
			36	17.2.7 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	1872	1296	47,95	527,47	
			36	17.2.13 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	1872	1296	47,95	527,47	
			36	17.2.19 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	1%	1%	9,36	3,24	0,23	2,48	
			36	17.2.21 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	1%	1%	9,36	3,24	0,23	2,48	
			36	17.2.22 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	1%	1%	37,44	12,96	0,90	9,91	
			36	17.2.20 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	1%	1%	9,36	3,24	0,23	2,48	
	Philips	PL-L 24W/830	24	17.2.0 - Bancadas	56	09:00 - 22:00	09:00-18:00	50%	25%	8736	3024	210,17	2311,85	
	Philips	PLE-C 8W	8	17.2.14 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.15 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.16 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.17 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.18 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.23 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.24 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.25 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.26 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
			8	17.2.27 - Gabinete de estudo individual e de audi	1	09:00 - 22:00	09:00-18:00	20%	0%	20,8	0	0,47	5,15	
	OSRAM	DULUX T PLUS	18	17.2.5 - Instalações sanitárias masculinas	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	936	648	23,98	263,74	
	OSRAM	DULUX T PLUS	18	17.2.6 - Instalações sanitárias femininas	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	936	648	23,98	263,74	
	OSRAM	DULUX D	13	Instalações sanitárias (espelhos)	4	09:00 - 22:00	09:00-18:00	100%	100%	676	468	17,32	190,48	
Total (kWh)											88,2255	56,54268	2239,516	24634,68

Anexo 11 – Consumo detalhado do sistema de iluminação no Piso 3

Tabela 90 - Consumo detalhado do sistema de iluminação no piso

Fluorescente Tubular		Philips	TL-D 36W/840	36	Biblioteca (estantes)	162	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	75816	52488	1942,056	21362616
		Philips <td>TL-D 8W<td>8<td>Balcão de informação<td>3<td>09:00 - 18:00<td>09:00 - 18:00<td>100%<td>0%<td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	TL-D 8W <td>8<td>Balcão de informação<td>3<td>09:00 - 18:00<td>09:00 - 18:00<td>100%<td>0%<td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	8 <td>Balcão de informação<td>3<td>09:00 - 18:00<td>09:00 - 18:00<td>100%<td>0%<td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Balcão de informação <td>3<td>09:00 - 18:00<td>09:00 - 18:00<td>100%<td>0%<td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td></td></td></td></td></td>	3 <td>09:00 - 18:00<td>09:00 - 18:00<td>100%<td>0%<td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td></td></td></td></td>	09:00 - 18:00 <td>09:00 - 18:00<td>100%<td>0%<td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td></td></td></td>	09:00 - 18:00 <td>100%<td>0%<td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td></td></td>	100% <td>0%<td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td></td>	0% <td>312<td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td></td>	312 <td>0<td>7,02<td>77220</td></td></td>	0 <td>7,02<td>77220</td></td>	7,02 <td>77220</td>	77220
Fluorescente compacta		OSRAM	PL 36W	36	17.3.10 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
				36	17.3.13 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
				36	17.3.15 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
				36	17.3.17 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
				36	17.3.18 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
				36	17.3.19 - Sala de estudo de grupo	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
				36	17.3.31 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	1%	1%	18,72	6,48	0,45036	4,95396
				36	17.3.32 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	1%	1%	18,72	6,48	0,45036	4,95396
				36	Biblioteca (entradas)	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	3744	2592	95,904	1054,944
				36	Zona de acesso ou circulação (gabinetes)	3	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	2808	1944	71,928	791,208
				36	Escadas (entrada)	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
		Philips	PL-L 24W/830	24	Biblioteca (bancadas)	56	09:00 - 22:00	09:00-18:00	50%	25%	3494,4	3024	92,232	1014,552
		Philips	PLE-C8W	8	17.3.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.28 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.29 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.30 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.32 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.34 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.35 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.36 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.37 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.4 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.5 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.6 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.7 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.21 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.22 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.23 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.3.24 - Gabinete de estudo individual	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	0%	20,8	0	0,468	5,148
		OSRAM	DULUX T PLUS	18	17.3.9 - Instalações sanitárias masculinas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
				18	17.3.8 - Instalações sanitárias femininas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	936	648	23,976	263,736
		OSRAM	DULUX D	13	Instalações sanitárias (espelhos)	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	100%	676	468	17316	190476
Total (kWh)											95,69	66,04	2450,11	26951,17

Anexo 12 – Consumo detalhado do sistema de iluminação no Piso 4

Tabela 91 - Consumo detalhado do sistema de iluminação no Piso 4

Fluorescente Tubular		Philips	TL-D 36W/840	36	Biblioteca (estantes)	162	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	75816	52488	1942,056	21362,62
Fluorescente compacta		OSRAM	PL 36W	36	17.4.6 - Arquivo - American Corner	4	09:00 - 18:00	09:00 - 18:00	100%	2592	0	58,32	641,52
				36	17.4.3 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	1872	1296	47,952	527,472
				36	17.4.11 - Zona de acesso ou circulação	2	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	1872	1296	47,952	527,472
				36	17.4.17 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	1%	9,36	3,24	0,22518	2,47698
				36	17.4.18 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	1%	9,36	3,24	0,22518	2,47698
		Philips	PL-L 24W/830	24	Biblioteca (bancadas)	48	09:00 - 22:00	09:00-18:00	30%	4492,8	0	101,088	1111,968
		Philips	PLE-C 8W	8	17.4.12 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.4.13 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.4.14 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.4.15 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.4.20 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.4.21 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.4.22 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	20,8	0	0,468	5,148
				8	17.4.23 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	1	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	20%	20,8	0	0,468	5,148
		OSRAM	DULUX T PLUS	18	17.4.4 - Instalações sanitárias femininas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	936	648	23,976	263,736
				18	17.4.5 - Instalações sanitárias masculinas	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	936	648	23,976	263,736
		OSRAM	DULUX D	13	Instalações sanitárias (espelhos)	4	09:00 - 22:00	09:00 - 18:00	100%	676	468	17,316	190,476
Total (kWh)										89,38	56,85	2266,83	24935,13

Anexo 13 – Iluminância medida no Piso 1

Tabela 92 - Iluminância medida no Piso 1 com iluminação natural a 100%.

Iluminação Natural - 100%							
Zona	Área (m²)	Potência (W)	Iluminância recomendada (lux)	Iluminância medida com iluminação local desligada (lux)	Iluminância medida com iluminação local ligada (lux)	Densidade de potência com iluminação ligada (W/m²/100lux)	Densidade de potência com iluminação desligada (W/m²/100lux)
17.1.32 - Depósito e publicações	326,53	1972	300	-	373	1,62	-
17.1.36 - Sala de convívio	45,91	288	300	-	311	2,02	-
17.1.39 - Sala de restauro	34,05	288	300	-	405	2,09	-
17.1.30 - Gabinete de administração	22,70	72	500	-	463	0,69	-
17.1.31 - Sala de reuniões	32,37	72	500	-	230	0,97	-
17.1.33 - Arquivo administrativo	22,20	144	200	-	224	2,90	-
17.1.42 - Sala de leitura informal	154,65	432	500	-	250	1,12	-
17.1.41 - Sala de formação	60,02	288	500	-	418	1,15	-
17.1.29 - Gabinete administrativo	25,56	72	500	-	450	0,63	-
17.1.25 - Gabinete administrativo	18,76	72	500	-	450	0,85	-
17.1.28 - Sala de trabalho	278,79	252	500	-	313	0,29	-
Zonas de acesso e circulação (escadas) x 3	40,50	1008	150	-	125	19,91	-
17.1.43 - Gabinete (sala de estudo individual)	6,20	8	500	20	120	1,08	6,45
17.1.44 - Gabinete (sala de estudo individual)	7,18	8	500	23	126	0,88	4,84
17.1.45 - Gabinete (sala de estudo individual)	6,79	8	500	21	121	0,97	5,61
17.1.46 - Gabinete (sala de estudo individual)	5,47	8	500	24	131	1,12	6,09
17.1.47 - Gabinete (sala de estudo individual)	11,39	8	500	20	117	0,60	3,51
17.1.50 - Gabinete (sala de estudo individual e de audiovisuais)	14,99	8	500	19	116	0,46	2,81
17.1.51 - Gabinete (sala de estudo individual)	7,19	8	500	21	121	0,92	5,30
17.1.52 - Gabinete (sala de estudo individual)	6,48	8	500	22	128	0,96	5,61
17.1.53 - Gabinete (sala de estudo individual)	5,78	8	500	23	130	1,06	6,02
17.1.54 - Gabinete (sala de estudo individual)	5,09	8	500	24	134	1,17	6,55
Instalações sanitárias masculinas	10,03	72	200	-	78	9,20	-
Instalações sanitárias femininas	7,38	72	200	-	80	12,20	-

Anexo 14 – Iluminância medida no Piso 2

Tabela 93 - Iluminância medida no Piso 2 com iluminação natural a 100% e 0%

Iluminação Natural - 100%									
Utilização	Área (m²)	Potência (W)	Iluminância recomendada (lux)	Iluminância medida com iluminação local desligada (lux)	Iluminância medida com iluminação local ligada (lux)	Densidade de potência com iluminação ligada (W/m²/100lux)	Densidade de potência com iluminação desligada (W/m²/100lux)2	Nível de iluminação	
17.2.0 - Biblioteca (estantes)	707,95	4860	500	871,8	929	0,74	0,79	Suficiente	
17.2.19 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	7,46	72	150	18	31	31,13	53,62	Insuficiente	
17.2.21 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	7,47	72	150	18	31	31,09	53,55	Insuficiente	
17.2.22 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	43,90	288	150	18	31	21,16	36,45	Insuficiente	
17.2.0 - Salão de leitura - Bancadas	707,95	1344	500	110,9	427,1	0,44	1,71	Suficiente	
17.2.14 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	6,20	8	500	24	129	1,00	5,38	Insuficiente	
17.2.15 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	3,97	8	500	22	125	1,61	9,16	Insuficiente	
17.2.16 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,17	8	500	21	122	1,57	9,14	Insuficiente	
17.2.17 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	5,47	8	500	24	131	1,12	6,09	Insuficiente	
17.2.18 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	11,39	8	500	27	133	0,53	2,60	Insuficiente	
17.2.23 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	14,99	8	500	20	120	0,44	2,67	Insuficiente	
17.2.24 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,66	8	500	22	125	1,37	7,80	Insuficiente	
17.2.25 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,66	8	500	23	129	1,33	7,15	Insuficiente	
17.2.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,66	8	500	23	128	1,34	7,46	Insuficiente	
17.2.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,66	8	500	29	135	1,27	5,92	Insuficiente	
17.2.5 - Instalações sanitárias masculinas	9,53	98	200	-	78	13,18	-	Insuficiente	
17.2.6 - Instalações sanitárias femininas	6,76	98	200	-	80	18,12	-	Insuficiente	

Iluminação Natural - 0%									
Utilização	Área (m²)	Potência (W)	Iluminância recomendada (lux)	Iluminância medida com iluminação local desligada (lux)	Iluminância medida com iluminação local ligada (lux)	Densidade de potência com iluminação ligada (W/m²/100lux)	Densidade de potência com iluminação desligada (W/m²/100lux)	Nível de iluminação	
17.2.0 - Biblioteca (estantes)	707,95	4860	500	612,7	671,5666667	1,02	1,12	Suficiente	
17.2.19 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	7,46	72	150	18	31	31,13	53,62	Insuficiente	
17.2.21 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	7,47	72	150	18	31	31,09	53,55	Insuficiente	
17.2.22 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	43,90	288	100	18	31	21,16	36,45	Insuficiente	
17.2.0 - Salão de leitura - Bancadas	707,95	1344	500	69,35	348,26	0,55	2,74	Suficiente	
17.2.14 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	6,20	8	500	24	129	1,00	5,38	Insuficiente	
17.2.15 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	3,97	8	500	22	125	1,61	9,16	Insuficiente	
17.2.16 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,17	8	500	21	122	1,57	9,14	Insuficiente	
17.2.17 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	5,47	8	500	24	131	1,12	6,09	Insuficiente	
17.2.18 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	11,39	8	500	27	133	0,53	2,60	Insuficiente	
17.2.23 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	14,99	8	500	20	120	0,44	2,67	Insuficiente	
17.2.24 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,66	8	500	22	125	1,37	7,80	Insuficiente	
17.2.25 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,66	8	500	24	129	1,33	7,15	Insuficiente	
17.2.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,66	8	500	23	128	1,34	7,46	Insuficiente	
17.2.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,66	8	500	29	135	1,27	5,92	Insuficiente	
17.2.5 - Instalações sanitárias masculinas	9,53	98	200	-	78	13,18	-	Insuficiente	
17.2.6 - Instalações sanitárias femininas	6,76	98	200	-	80	18,12	-	Insuficiente	

## Anexo 15 – Iluminância medida no Piso 3

Tabela 94 - Iluminância medida no Piso 3 com iluminação natural a 100%

Iluminação Natural - 100%									
Utilização	Área (m²)	Potência (W)	Iluminância recomendada (lux)	Iluminância medida com iluminação local desligada (lux)	Iluminância medida com iluminação local ligada (lux)	Densidade de potência com iluminação ligada (W/m²/100lux)	Densidade de potência com iluminação desligada (W/m²/100lux)	Nível de iluminação	
Salão de leitura / estantes	318,72	2916	500	809,29	874,34	1,05	1,13	Suficiente	
Bancadas	-	1344	500	316,19	568,31	-	-	Suficiente	
17.3.4 - Gabinete de estudo individual	4,17	8	500	21	121	1,59	9,14	Insuficiente	
17.3.5 - Gabinete de estudo individual	4,22	8	500	22	123	1,54	8,62	Insuficiente	
17.3.6 - Gabinete de estudo individual	4,22	8	500	25	128	1,48	7,58	Insuficiente	
17.3.7 - Gabinete de estudo individual	4,02	8	500	23	127	1,57	8,65	Insuficiente	
17.3.21 - Gabinete de estudo individual	4,02	8	500	22	125	1,59	9,05	Insuficiente	
17.3.22 - Gabinete de estudo individual	4,22	8	500	20	130	1,46	9,48	Insuficiente	
17.3.23 - Gabinete de estudo individual	4,22	8	500	20	115	1,65	9,48	Insuficiente	
17.3.24 - Gabinete de estudo individual	4,17	8	500	21	108	1,78	9,14	Insuficiente	
17.3.10 - Sala de estudo de grupo	20,07	144	500	-	1511	0,47	-	Suficiente	
17.3.11 - Sala de estudo de grupo (Partituras)	18,98	72	500	-	72	5,27	-	Insuficiente	
17.3.13 - Sala de estudo de grupo	20,76	72	500	-	90,5	3,83	-	Insuficiente	
17.3.14 - Sala de estudo de grupo (audiovisual)	20,67	72	500	-	84	4,15	-	Insuficiente	
17.3.15 - Sala de estudo de grupo	20,67	72	500	-	363	0,96	-	Suficiente	
17.3.17 - Sala de estudo de grupo	18,44	72	500	1144	1475	0,26	0,34	Suficiente	
17.3.18 - Sala de estudo de grupo	18,57	72	500	-	1026	0,38	-	Suficiente	
17.3.19 - Sala de estudo de grupo	18,63	72	500	-	606	0,64	-	Suficiente	
17.3.31 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	7,46	144	150	18	31	62,27	107,24	Insuficiente	
17.3.32 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	7,47	144	150	18	31	62,18	107,10	Insuficiente	
17.3.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	6,20	8	500	24	130	0,99	5,38	Insuficiente	
17.3.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	3,97	8	500	23	127	1,59	8,76	Insuficiente	
17.3.28 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,17	8	500	20	121	1,59	9,59	Insuficiente	
17.3.29 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	5,47	8	500	21	122	1,20	6,96	Insuficiente	
17.3.30 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	11,39	16	500	20	121	1,16	7,02	Insuficiente	
17.3.33 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	14,99	16	500	18	120	0,89	5,93	Insuficiente	
17.3.34 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	7,20	8	500	22	123	0,90	5,05	Insuficiente	
17.3.35 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	6,50	8	500	21	121	1,02	5,86	Insuficiente	
17.3.36 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	5,80	8	500	24	126	1,09	5,75	Insuficiente	
17.3.37 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	5,07	8	500	25	128	1,23	6,31	Insuficiente	
17.3.8 - Instalações sanitárias femininas	6,76	98	200	-	65	22,30	-	Insuficiente	
17.3.9 - Instalações sanitárias masculinas	9,53	98	200	-	65	15,82	-	Insuficiente	

Tabela 95 - Iluminância medida no Piso 3 com iluminação natural a 0%

Utilização	Iluminação Natural -0%						Nível de iluminação
	Área (m²)	Potência (W)	Iluminância recomendada (lux)	Iluminância medida com iluminação local desligada (lux)	Iluminância medida com iluminação local ligada (lux)	Densidade de potência com iluminação ligada (W/m²/100lux)	
Salão de leitura / estantes	318,72	2916	500	656,88	737,16	1,24	Suficiente
Bancadas	-	1344	500	89,50	422,56	-	Suficiente
17.3.4 - Gabinete de estudo individual	4,17	8	500	21	121	1,59	Insuficiente
17.3.5 - Gabinete de estudo individual	4,22	8	500	22	123	1,54	Insuficiente
17.3.6 - Gabinete de estudo individual	4,22	8	500	25	128	1,48	Insuficiente
17.3.7 - Gabinete de estudo individual	4,02	8	500	23	127	1,57	Insuficiente
17.3.21 - Gabinete de estudo individual	4,02	8	500	22	125	1,59	Insuficiente
17.3.22 - Gabinete de estudo individual	4,22	8	500	20	130	1,46	Insuficiente
17.3.23 - Gabinete de estudo individual	4,22	8	500	20	115	1,65	Insuficiente
17.3.24 - Gabinete de estudo individual	4,17	8	500	21	108	1,78	Insuficiente
17.3.10 - Sala de estudo de grupo	20,07	144	500	-	341	2,10	Suficiente
17.3.11 - Sala de estudo de grupo (Partituras)	18,98	72	500	-	72	5,27	Insuficiente
17.3.13 - Sala de estudo de grupo	20,76	72	500	-	81	4,28	Insuficiente
17.3.14 - Sala de estudo de grupo (audiovisual)	20,67	72	500	-	72	4,84	Insuficiente
17.3.15 - Sala de estudo de grupo	20,67	72	500	-	234	1,49	Suficiente
17.3.17 - Sala de estudo de grupo	18,44	72	500	-	290	1,35	Suficiente
17.3.18 - Sala de estudo de grupo	18,57	72	500	-	313	1,24	Suficiente
17.3.19 - Sala de estudo de grupo	18,63	72	500	-	422	0,92	Suficiente
17.3.31 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	7,46	144	150	18	31	62,27	Insuficiente
17.3.32 - Zona de acesso ou circulação (escadas)	7,47	144	150	18	31	62,18	Insuficiente
17.3.26 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	6,20	8	500	24	130	0,99	Insuficiente
17.3.27 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	3,97	8	500	23	127	1,59	Insuficiente
17.3.28 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	4,17	8	500	20	121	1,59	Insuficiente
17.3.29 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	5,47	8	500	21	122	1,20	Insuficiente
17.3.30 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	11,39	8	500	20	121	0,58	Insuficiente
17.3.33 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	14,99	8	500	18	120	0,44	Insuficiente
17.3.34 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	7,20	8	500	22	123	0,90	Insuficiente
17.3.35 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	6,50	8	500	21	121	1,02	Insuficiente
17.3.36 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	5,80	8	500	24	126	1,09	Insuficiente
17.3.37 - Gabinete de estudo individual e de audiovisuais	5,07	8	500	25	128	1,23	Insuficiente
17.3.8 - Instalações sanitárias femininas	6,76	98	200	-	78	18,59	Insuficiente
17.3.9 - Instalações sanitárias masculinas	9,53	98	200	-	80	12,85	Insuficiente



## Anexo 16 – Iluminância medida no Piso 4

Tabela 96 - Iluminância medida no Piso 4 com iluminação natural a 100% e 0%

Iluminação Natural - 100%								
Utilização	Área (m²)	Potência (W)	Iluminância recomendada (lux)	Iluminância medida com iluminação local desligada (lux)	Iluminância medida com iluminação local ligada (lux)	Densidade de potência com iluminação ligada (W/m²/100lux)	Densidade de potência com iluminação desligada (W/m²/100lux)	Nível de iluminação
Salão de leitura/estantes Bancadas	289,92	2916	500	-	1061,13	0,95	-	Suficiente
	-	1152	500	522,56	924,38	-	-	Suficiente
	7,45	72	150	18	36	26,85	53,69	Insuficiente
	7,46	72	150	18	36	26,81	53,62	Insuficiente
	6,2	8	500	21	123	1,05	6,14	Insuficiente
	3,97	8	500	23	127	1,59	8,76	Insuficiente
	4,17	8	500	20	121	1,59	9,59	Insuficiente
	5,47	8	500	22	124	1,18	6,65	Insuficiente
	4,66	8	500	20	121	1,42	8,58	Insuficiente
	4,66	8	500	17	119	1,44	10,10	Insuficiente
	4,66	8	500	22	123	1,40	7,80	Insuficiente
	4,66	8	500	21	121	1,42	8,17	Insuficiente
	6,76	98	200	-	78	65	-	Insuficiente
	9,53	98	200	-	80	65	-	Insuficiente
Iluminação Natural - 0%								
Utilização	Área (m²)	Potência (W)	Iluminância recomendada (lux)	Iluminância medida com iluminação local desligada (lux)	Iluminância medida com iluminação local ligada (lux)	Densidade de potência com iluminação ligada (W/m²/100lux)	Densidade de potência com iluminação desligada (W/m²/100lux)	Nível de iluminação
Salão de leitura/estantes Bancadas	289,92	2916	500	668,34	740,16	0,95	1,50	Suficiente
	-	1152	500	101,75	433,38	-	-	Suficiente
	7,45	72	150	18	36	26,85	53,69	Insuficiente
	7,46	72	150	18	36	26,81	53,62	Insuficiente
	6,2	8	500	21	123	1,05	6,14	Insuficiente
	3,97	8	500	23	127	1,59	8,76	Insuficiente
	4,17	8	500	20	121	1,59	9,59	Insuficiente
	5,47	8	500	22	124	1,18	6,65	Insuficiente
	4,66	8	500	20	121	1,42	8,58	Insuficiente
	4,66	8	500	17	119	1,44	10,10	Insuficiente
	4,66	8	500	22	123	1,40	7,80	Insuficiente
	4,66	8	500	21	121	1,42	8,17	Insuficiente
	6,76	98	200	-	78	18,59	-	Insuficiente
	9,53	98	200	-	80	12,85	-	Insuficiente

